

Gutachten zur Prüfung der Treibhausgas-Projektionsdaten 2024

Sondergutachten gemäß § 12 Abs. 4 Bundes-Klimaschutzgesetz



3. Juni 2024

Gutachten zur Prüfung der Treibhausgas-Projektionsdaten 2024

Sondergutachten gemäß § 12 Abs. 4 Bundes-Klimaschutzgesetz



Impressum

Geschäftsstelle Expertenrat für Klimafragen (ERK)
Seydelstr. 15, 10117 Berlin
Tel.: +49 30 8903 5575
info@expertenrat-klima.de
www.expertenrat-klima.de

Erschienen am 03.06.2024 | Version vom 03.06.2024
Die Veröffentlichungen des ERK sind unter www.expertenrat-klima.de kostenlos verfügbar.

Zur *sprachlichen* Gleichbehandlung: Als Mittel der sprachlichen Darstellung aller sozialen Geschlechter und Geschlechtsidentitäten wird in diesem Gutachten bei allen Bezeichnungen, die auf Personen bezogen sind, der Genderstern (z.B. Leser*innen) verwendet.

Zitierweise für diese Publikation: Expertenrat für Klimafragen (2024): Gutachten zur Prüfung der Treibhausgas-Projektionsdaten 2024. Sondergutachten gemäß § 12 Abs. 4 Bundes-Klimaschutzgesetz. Online verfügbar unter: https://www.expertenrat-klima.de



Expertenrat für Klimafragen

Prof. Dr. Hans-Martin Henning (Vorsitzender)

Dr. Brigitte Knopf (stellvertretende Vorsitzende)

Prof. Dr. Marc Oliver Bettzüge

Prof. Dr. Thomas Heimer

Dr. Barbara Schlomann

Die Ratsmitglieder bedanken sich für die sachkundige und engagierte Unterstützung durch die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des wissenschaftlichen Stabs und der Geschäftsstelle.

Wissenschaftlicher Stab

Dr. Jakob Peter (Generalsekretär) • Dr. Charlotte Senkpiel (Projektleitung) • Jessica Berneiser • Iska Brunzema • Nicolai Hans • Dr. Alexander Hurley • Theresa Iglauer • Jakob Junkermann • Dr. Katrin Kohnert • Bruno Nemec • Hannah Nolte • Dr. Swaroop Rao • Dr. Niklas Reinfandt • Simon Schnier • Dr. Franziska Schulz • Pia Willers • Marie-Louise Zeller

Geschäftsstelle

Lea Eisemann • Cynthia Schmitt

Im Laufe der Erarbeitung dieses Gutachtens hat der Expertenrat für Klimafragen und der wissenschaftliche Stab zudem mit vielen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern sowie Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern unterschiedlicher Institutionen zusammengearbeitet:

Mitarbeitende des Umweltbundesamtes, des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz, des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr, des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz sowie verschiedener Fachinstitute des Thünen-Instituts, Dr. Sybille Braunhardt (Öko-Institut), Marie Colson (ifeu), Jana Deurer (IREES), Arnulf Dinkel (Fraunhofer ISE), Johannes Dornberger (AGFW), Lukas Emele (Öko-Institut), Dr. Hannah Förster (Öko-Institut), Marei Göbelbecker (EWI), Wolf Görz (Öko-Institut), Dr. Jakob Graichen (Öko-Institut), Dr. Ralph Harthan (Öko-Institut), Florian Heining (ifeu), Dr. Ralph Henger (IW Köln), Rabea Hoffmann (KBA), Dr. Luca Lena Jansen (Öko-Institut), Julius Jöhrens (ifeu), Peter Kasten (Öko-Institut), Dr. Andreas Kemmler (Prognos), Sven Kreidelmeyer (Prognos), Jan Limbers (Prognos), Dr. Sylvie Ludig (Öko-Institut), Robert Meyer (Fraunhofer ISE), Axel Oliva (Fraunhofer ISE), Dr. Alexander Piégsa (Prognos), Dr. Matthias Rehfeldt (Fraunhofer ISI), Julia Repenning (Öko-Institut), Margarethe Scheffler (Öko-Institut), Dr. Jan Steinbach (IREES), Franka Sunder (Fraunhofer ISE), Johann Wehrmeister (Praktikum ERK), Uwe Wolff (PZN Wiesloch) und Aurel Wünsch (Prognos).

Der Expertenrat für Klimafragen dankt für die wertvolle Zusammenarbeit


Expertenrat
für Klimafragen



Inhaltsverzeichnis



Abbildungen



Tabellen



Abkürzungen

AGEB	Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen
AP	Announced Pledges
BEG	Bundesförderung für effiziente Gebäude
BEHG	Brennstoffemissionshandelsgesetz (Gesetz über einen nationalen Zertifikatehandel für Brennstoffemissionen)
BEV	Battery Electric Vehicle (Elektrofahrzeuge mit Batterie)
BIP	Bruttoinlandsprodukt
BMWK	Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
CO_2	Kohlenstoffdioxid
CO_2-Äq.	Kohlenstoffdioxid-Äquivalente
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EEV	Endenergieverbrauch
ERK	Expertenrat für Klimafragen
ESR	Europäische Lastenteilungsverordnung (Effort Sharing Regulation)
EU	Europäische Union
EU-ETS	EU-Emissionshandelssystem (European Union Emissions Trading System)
GEG	Gebäudeenergiegesetz
GHD	Gewerbe, Handel, Dienstleistung
GW	Gigawatt
KSG	Bundes-Klimaschutzgesetz
KTF	Klima- und Transformationsfonds
Lkw	Lastkraftwagen
LULUCF	Land Use, Land Use Change and Forestry (Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft)
Mt	Megatonne
MMS	Mit-Maßnahmen-Szenario
MWMS	Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario
NECP	Nationaler Energie- und Klimaschutz-Plan
OVG	Oberverwaltungsgericht
PEV	Primärenergieverbrauch
Pkw	Personenkraftwagen
PV	Photovoltaik
Py-Gas-EM	Landwirtschaftliches Emissions-Inventar-Modell
THG	Treibhausgase
TTF	Title Transfer Facility
TWh	Terawattstunde
TYNDP	Ten Year Network Development Plan



UBA	Umweltbundesamt
UNFCCC	Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen
WEO	World Energy Outlook



Zusammenfassung

Am 15.03.2024 hat das Umweltbundesamt die Projektionsdaten 2024 veröffentlicht. Die Bundesregierung hat den Expertenrat für Klimafragen am 19.04.2024 mit einem Sondergutachten zu deren Prüfung beauftragt. Gegenstand des Sondergutachtens ist eine Feststellung der Zieleinhaltung bzw. -verfehlung gemäß novelliertem Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG)[1] für den Zeitraum bis zum Jahr 2030 auf Grundlage der Projektionsdaten 2024 im Sinne von § 12 Abs. 1 KSG.

Darstellung und Einordnung der Projektionsdaten 2024 für den Zeitraum 2021-2030 (ohne LULUCF)

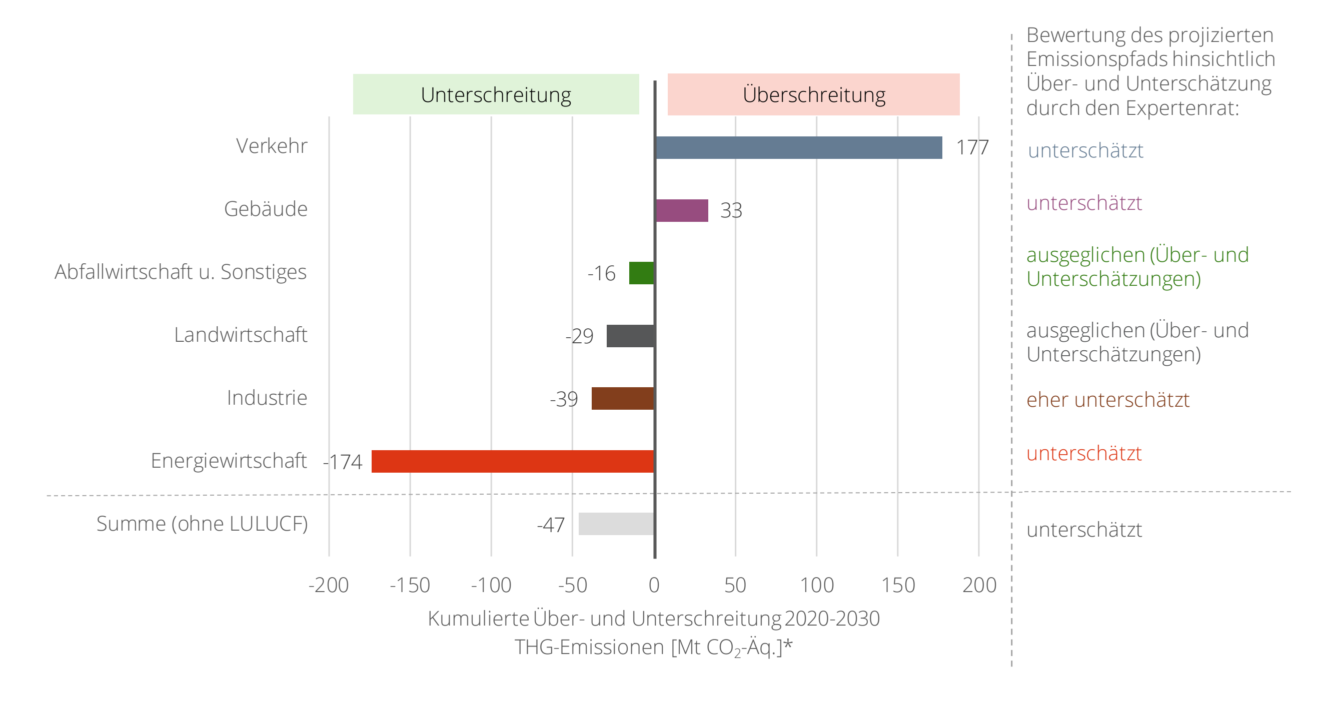
Das übergeordnete Ziel von 65 % Minderung der jährlichen Treibhausgasemissionen im Jahr 2030 gegenüber 1990 (§ 3 Abs. 1 Nr. 1 KSG), entsprechend 438 Mt CO_2-Äq. im Jahr 2030, würde gemäß der Projektionsdaten 2024 mit 455 Mt CO_2-Äq. knapp nicht erreicht werden. Laut Projektionsdaten 2024 würde allerdings das gemäß § 4 Abs. 1 KSG vorgegebene Gesamtbudget der THG-Emissionen im Zeitraum von 2021-2030 mit einem Puffer von 47 Mt CO_2-Äq. eben noch eingehalten (siehe Abbildung Z 1). Die Zielverfehlungen der Sektoren Verkehr und Gebäude werden in der Projektion durch Übererfüllungen in den anderen Sektoren, insbesondere der Energiewirtschaft und in geringerem Maße der Industrie, ausgeglichen. Im Landwirtschaftssektor und bei der Abfallwirtschaft tragen Methodenänderungen, die zu einer Anpassung der Emissionsfaktoren geführt haben, maßgeblich zur Zielerreichung bei. Der LULUCF-Sektor, der nicht Teil der Budgetbetrachtung ist, verfehlt laut Projektionsdaten 2024 das im Bundes-Klimaschutzgesetz festgelegte Ziel für das Jahr 2030. Ebenso würden laut Projektionsdaten 2024 die nationalen Verpflichtungen unter der europäischen Lastenteilung (ESR), die vor allem die Sektoren Verkehr und Gebäude betreffen, ab dem Jahr 2024 nicht erfüllt.

Zu verschiedenen Rahmendaten und Parametern wurden im Rahmen der Erstellung der Projektionsdaten 2024 Sensitivitätsrechnungen durchgeführt. Dabei zeigt sich, dass die Realisierung von niedrigeren als den angenommenen CO_2-Zertifikatspreisen im europäischen Emissionshandel EU-ETS zu deutlich höheren THG-Emissionen in der Projektion führen würde. Eine mögliche Minderung der THG-Emissionen könnte sich hingegen aus einem verringerten Preisunterschied zwischen Gas und Kohle, höheren Ölpreisen und einer langsameren Erholung der Produktionsmengen in der Industrie ergeben. Insgesamt spannen die ermittelten Sensitivitäten unter anderem aufgrund der begrenzten Anzahl an variierten Einflussfaktoren nicht den Raum der möglichen Entwicklungspfade auf.

[1] Die Ausfertigung der Novelle des Bundes-Klimaschutzgesetzes vom Bundespräsidenten steht zum Redaktionsschluss dieses Gutachtens (31.05.2024) noch aus. Die Feststellungen dieses Gutachtens sind entsprechend im Sinne der Vorgaben der Novelle des Bundes-Klimaschutzgesetzes verfasst.



Abbildung Z 1: Abweichungen der sektoralen THG-Emissionen laut Projektionsdaten 2024 zu den kumulierten zulässigen Jahresemissionsmengen im Zeitraum 2021-2030 nach Sektoren und in Summe (ohne LULUCF) sowie Bewertung der Projektionsdaten 2024 hinsichtlich Über- und Unterschätzung durch den Expertenrat



Eigene Darstellung. Basierend auf den Zielwerten laut Bundes-Klimaschutzgesetz, auf den historischen Emissionsdaten (UBA 2024a) und den Projektionsdaten 2024 (UBA 2024e). Negative Werte beschreiben eine kumulierte Unterschreitung der zulässigen Emissionsmengen 2021-2030. Positive Werte eine Überschreitung. *Diese berechneten Werte weichen leicht von den Werten des Umweltbundesamts in UBA (2024e) ab.

Prüfung des Zeitraums 2021-2030 in den Projektionsdaten 2024 auf Aktualität und Plausibilität

Die Projektion zukünftiger Emissionen ist naturgemäß mit erheblichen Unsicherheiten verbunden. Aus der Zielsetzung des Bundes-Klimaschutzgesetzes folgert der Expertenrat, dass die von ihm im Sinne von § 12 Absatz 1 Satz 2 KSG zu treffende Feststellung einer „Über- oder Unterschreitung“ mindestens anhand eines Emissionspfads zu treffen ist, der *ebenso wahrscheinlich* über- wie unterschritten wird (im Weiteren als 50/50-Emissionspfad bezeichnet). In den Projektionsdaten 2024 werden keine Angaben zur Wahrscheinlichkeit des dort ausgewiesenen Emissionspfads gemacht. Auf der Grundlage der Ergebnisse seiner Prüfung formuliert der Expertenrat daher eine Einschätzung, ob der von ihm vermutete 50/50-Emissionspfad oberhalb oder unterhalb des Emissionspfads der Projektionsdaten 2024 liegen würde. Basierend auf dem Vergleich dieses 50/50-Emissionspfads mit dem in den Projektionsdaten 2024 ausgewiesenen Emissionspfad sowie den KSG-Zielwerten stellt der Expertenrat dann für alle Sektoren aggregiert fest, „inwieweit die Summe der Treibhausgasemissionen gemäß den Projektionsdaten die Summe der Jahresemissionsgesamtmengen nach Anlage 2 in Verbindung mit § 4 Abs. 2 in den Jahren 2021 bis einschließlich 2030 über- oder unterschreitet“ (im Sinne von § 12 Abs. 1 Satz 2 KSG).

Der Expertenrat wendet in diesem Gutachten ein mehrgliedriges Prüfschema an:

i) Deskriptive Darstellung der Projektionsdaten 2024 und Abgleich mit den Vorgaben des Bundes-Klimaschutzgesetzes



ii) Prüfung des methodischen Vorgehens bei der Ermittlung und Begründung der Projektionsdaten 2024 einschließlich der Bewertung der Konsistenz und Transparenz des Vorgehens
iii) Einordnung, insbesondere mit Bezug auf deren Eintrittswahrscheinlichkeit unter besonderer Berücksichtigung der Aktualität und Plausibilität der zugrunde gelegten Annahmen

Die Projektionsdaten 2024 wurden in einem Modellverbund ermittelt, der auf separaten Modellen für die einzelnen Sektoren aufbaut. Der Expertenrat sieht nach Prüfung zwar einen hohen Detailgrad bei den modellierten Maßnahmen, Aktivitäten und THG-Emissionen. In der Prüfung werden jedoch auch einige methodische Probleme bezüglich der Konsistenz sowie der Transparenz des Vorgehens identifiziert.

Die in den Projektionsdaten 2024 ermittelte Entwicklung der THG-Emissionen hängt stark von den getroffenen Annahmen zu zentralen ökonomischen Rahmendaten ab. Hier haben sich seit dem Stichtag für die Setzung der Annahmen Ende Oktober 2023 neue Einschätzungen zu den Rahmendaten ergeben. So wird beispielsweise die Wirtschaftsentwicklung aktuell weniger positiv eingeschätzt als Mitte 2023, und sowohl die erwarteten Gas- als auch CO_2-Zertifikatspreise im EU-ETS liegen auf deutlich geringerem Niveau. Auch in Bezug auf die Maßnahmenumsetzung entsprechen die ursprünglichen Annahmen teilweise nicht mehr den aktuellen Gegebenheiten. Insbesondere wurden die Kürzungen im Klima- und Transformationsfonds (KTF) bei der Erstellung der Projektionsdaten 2024 noch nicht berücksichtigt. Die in den Projektionsdaten 2024 dargestellte und teilweise auf KTF-Zuschüssen basierende Transformationsgeschwindigkeit eines fossilen hin zu einem nicht-fossilen Kapitalstock scheint dem Expertenrat vor diesem Hintergrund tendenziell überschätzt.

Feststellung zu Über- oder Unterschreitung der Ziele im Sinne von § 12 Absatz 1 Satz 2 KSG

Im Ergebnis gelangt der Expertenrat zu der Bewertung, dass die Projektionsdaten 2024 die THG-Emissionen in den Sektoren Energie, Gebäude und Verkehr sowie – mit Einschränkungen – der Industrie im Vergleich zu einem vermuteten 50/50-Emissionspfad unterschätzen (siehe Abbildung Z 1). Zwar würde ein 50/50-Emissionspfad auch nach Einschätzung des Expertenrats zu substanziellen Minderungen der jährlichen THG-Emissionen führen. Dennoch läge ein solcher Pfad oberhalb desjenigen der Projektionsdaten 2024, und die Überschreitung wäre in Summe so groß, dass das gesetzliche Ziel der Summe der Jahresemissionsgesamtmengen für den Zeitraum 2021-2030 insgesamt vermutlich nicht eingehalten werden würde.

Aus Sicht des Expertenrats ist diese Feststellung gleichbedeutend mit der Feststellung einer Zielverfehlung im Sinne von § 8 Abs. 1 Satz 1 KSG, da nach Auffassung des Expertenrats nicht das Ergebnis der Projektionsdaten selbst, sondern dessen Bewertung durch den Expertenrat maßgeblich sein wird. Damit stellt der Expertenrat für das Jahr 2024 die erste Zielverfehlung im Sinne der Vorgaben des novellierten Bundes-Klimaschutzgesetzes fest (§ 12 Abs. 1 KSG und § 16 Abs. 2 KSG).

Bereits im vergangenen Jahr stellte der Expertenrat bei der Analyse der Projektionsdaten 2023 eine Zielverfehlung fest (ERK 2023c). Auch wenn diese nach der Novelle des Bundes-Klimaschutzgesetzes keine auslösende Wirkung hat, sieht der Expertenrat im Licht der Analyseergebnisse der hier betrachteten Projektionsdaten 2024 – trotz der fehlenden Gesetzesfolge im laufenden Jahr 2024 – Handlungsbedarf für die Bundesregierung und den Deutschen Bundestag. Die Zielverfehlung für die Jahresemissionsgesamtmengen im Zeitraum 2021-2030 ist aus Sicht des Expertenrats *wahrscheinlicher* als die Zieleinhaltung. Zudem stellt der Expertenrat fest, dass gemäß den Projektionsdaten 2024 die Ziele der für Deutschland festgelegten Zuweisungen in der europäischen Lastenteilung in Summe für die Jahre 2021

bis 2030 überschritten werden. Weiterhin wird im Zieljahr 2030 eine deutlich geringere Senkenleistung des Sektors LULUCF erwartet.

Vor diesem Hintergrund empfiehlt der Expertenrat, nicht auf das abermalige Eintreten einer Zielverfehlung zu warten, sondern unverzüglich mit der Erstellung von weiteren Maßnahmen zu beginnen. Diese Maßnahmen sollten geeignet sein, sowohl die Anforderung aus § 8 Abs. 1 Satz 1 KSG, nämlich die Einhaltung der Summe der Jahresemissionsgesamtmengen für die Jahre 2021 bis 2030, als auch die Anforderung aus der ESR, nämlich die Einhaltung der europäischen Emissionsobergrenzen, sicherzustellen.

Betrachtung der Projektionsdaten 2024 für den Zeitraum 2031-2050 sowie des Sektors LULUCF

Für den Zeitraum ab dem Jahr 2031 weisen die Projektionsdaten 2024 substanzielle Überschreitungen der Ziele aus dem Bundes-Klimaschutzgesetz auf. Im Zeitraum 2031 bis 2040 zeigt sich in den Projektionsdaten 2024 eine deutliche projizierte Zielüberschreitung des THG-Budgets um 278 Mt CO_2-Äq. Das Ziel der Netto-Treibhausgasneutralität bis zum Jahr 2045 würde zudem sehr deutlich verfehlt und auch bis 2050 nicht erreicht (Abbildung Z 2).

Dennoch ergibt sich aus dem Bundes-Klimaschutzgesetz frühestens im Jahr 2030 eine verpflichtende Handlungsfolge aus dieser Erkenntnis. Dem Expertenrat erschließt sich nicht, warum so lange mit der Entwicklung einer hinreichenden langfristigen Treibhausgasminderungsstrategie gewartet werden soll.

Auch der Sektor LULUCF würde laut Projektionsdaten 2024 seine im Bundes-Klimaschutzgesetz festgeschriebenen Ziele weit verfehlen. Statt eine zunehmend ausgeprägte Senke zu werden, wäre der Sektor zeitweise sogar eine THG-Quelle. Auch diesbezüglich empfiehlt der Expertenrat die rasche Einleitung von gegensteuernden Maßnahmen.

Das Bundes-Klimaschutzgesetz regelt noch nicht, ob und wie etwaige Puffer oder Defizite aus der Periode 2021 bis 2030 auf die Ziele für die Folgeperiode 2031 bis 2040 angerechnet werden. Der Expertenrat empfiehlt eine diesbezügliche Klärung durch die Bundesregierung oder den Gesetzgeber.

Anforderungen an den Prozess zur Erstellung der Projektionsdaten und Überlegungen zur Governance

Im Einklang mit früheren Feststellungen bewertet der Expertenrat die im novellierten Bundes-Klimaschutzgesetz vorgenommene Änderung, ex-ante-Daten in die Beurteilung zur Notwendigkeit der Auslösung zusätzlicher klimapolitischer Maßnahmen einzubeziehen, grundsätzlich positiv. Allerdings wirft die Verwendung von Projektionsdaten neue Herausforderungen bezüglich einer sachgerechten Modellierung auf. Der Expertenrat befasst sich deshalb mit grundsätzlichen Anforderungen an den Prozess zur Erstellung der Projektionsdaten vor dem Hintergrund der hohen Bedeutung, die diese im Kontext des novellierten Bundes-Klimaschutzgesetzes gewinnen. Diese Anforderungen betreffen Fragen der Behandlung von Unsicherheiten im Zusammenhang mit Projektionsrechnungen, Aspekte der verwendeten Daten und Modelle und die Governance des Prozesses zur Beauftragung und Erstellung der Projektionsdaten. In all diesen Belangen sieht der Expertenrat Verbesserungspotenziale, die sich teilweise daraus ergeben, dass die Erstellung der Projektionsdaten bis dato ausschließlich der Erfüllung von Berichtspflichten diente. Der Expertenrat empfiehlt der Bundesregierung, bei der Umsetzung der Vorgaben aus dem neuen Bundes-Klimaschutzgesetz bestehende Gestaltungsmöglichkeiten im Sinne der gemachten Anregungen zu prüfen.

Mit der Novelle des Gesetzes ist die Handlungsverantwortung bei festgestellter Zielverfehlung auf die Bundesregierung als Ganze überführt worden, ohne spezifisch auszuweisen, wer in der Bundesregierung die

„Federführung" innehat. Der Expertenrat empfiehlt der Bundesregierung, den Prozess zwischen Feststellung der Notwendigkeit von Maßnahmen und dem entsprechenden Beschluss rasch auf dem Verordnungsweg zu spezifizieren.

Abbildung Z 2: Entwicklung der THG-Emissionen (ohne LULUCF) im Vergleich zu den jährlich zulässigen Emissionsmengen

historisch

47 Mt CO_2-Äq.
Puffer

278 Mt CO_2-Äq.
Überschreitung

Entwicklung der THG-Emissionen [Mt CO_2-Äq.]

Abfallwirtschaft & Sonstiges
Landwirtschaft
Verkehr
Gebäude
Industrie
Energiewirtschaft
Zulässige Emissionsmengen (mit Anpassung nach KSG § 4 Abs. 2)
Zulässige Emissionsmengen (ohne Anpassung, KSG Anlage 2)

Eigene Darstellung. Basierend auf dem Bundes-Klimaschutzgesetz, den historischen Emissionsdaten (UBA 2024a) und den Projektionsdaten 2024 (UBA 2024e).

.

1 Einleitung

1 Die Novelle des Bundes-Klimaschutzgesetzes (KSG) wurde am 26.04.2024 im Bundestag verabschiedet und am 17.05.2024 durch den Bundesrat mit einer begleitenden Entschließung gebilligt.[2] Mit der KSG-Novelle 2024[3] gehen grundlegende Änderungen einher. Tabelle A 1 führt wesentliche Unterschiede zwischen dem Bundes-Klimaschutzgesetz in der Fassung vom 18.08.2021 und der Novelle auf.

2 Eine wesentliche Änderung betrifft die Systematik der klimapolitischen Steuerung. Während in den vorherigen Fassungen des Gesetzes (KSG 2019, KSG 2021) die Steuerungsimpulse für zusätzliche klimapolitische Maßnahmen von beobachteten Zielverfehlungen in den THG-Emissionen in Bezug auf die Erreichung des THG-Emissionszielpfads ausgelöst wurden, zielt das novellierte Bundes-Klimaschutzgesetz auf die frühzeitige Identifikation von zu erwartenden zukünftigen Abweichungen der THG-Budgets von dem im Gesetz verankerten THG-Emissionszielpfad, und zwar kumuliert über Sektoren und über die in § 3 KSG festgelegten Erfüllungszeiträume (2021-2030, 2031-2040 sowie 2041-2045) hinweg (§ 4 Abs. 1 KSG). Entsprechend muss sich der neue Auslösemechanismus sowohl auf ex-post- als auch auf ex-ante-Daten stützen. Als Quelle für die ex-ante-Daten spezifiziert das novellierte Gesetz die Projektionsdaten (§ 5a KSG), welche von der Bundesregierung auch für die Zwecke der europäischen Berichterstattung gemäß EU-Governance-Verordnung (EU 1999/2018 Artikel 18, 1a, 1b) genutzt werden (§ 5a KSG). Diese Daten werden auch im Rahmen der Berichterstattungspflichten gemäß Bundes-Klimaschutzgesetz (§ 10 KSG), Nationalem Energie- und Klimaschutz-Plan (NECP) sowie UNFCCC Biennial Report/National Communication mit den dazugehörigen Durchführungsverordnungen erstellt und verwendet.

3 Das Umweltbundesamt definiert in einer schriftlichen Antwort an den Expertenrat für Klimafragen die Projektionsdaten als eine mögliche Entwicklung der territorialen THG-Emissionen Deutschlands unter Berücksichtigung der verabschiedeten und umgesetzten Klimaschutzinstrumente und unter ressortabgestimmter Annahme bestimmter Rahmendaten.

4 Durch ihre Aufnahme in die Steuerungslogik des Bundes-Klimaschutzgesetzes kommt den Projektionsdaten zu den THG-Emissionen zukünftig eine entscheidende Rolle als Auslösekriterium für die Notwendigkeit staatlichen Handelns zu (§ 8 KSG). Entsprechend fordert das Bundes-Klimaschutzgesetz nunmehr auch eine unabhängige Prüfung dieser Daten durch den Expertenrat für Klimafragen (§ 12 Abs. 1 Satz 1 KSG). Das Ergebnis dieser Prüfung ist maßgeblich für die Rechtsfolge der Auslösung von zusätzlichem Regierungshandeln (§ 8 Abs. 1 Satz 1 KSG).

5 Am 15.03.2024 hat das Umweltbundesamt die Projektionsdaten 2024[4] veröffentlicht. Gemäß der Übergangsvorschrift § 16 Abs. 2 KSG gelten diese Daten als Projektionsdaten im Sinne des novellierten Bundes-Klimaschutzgesetzes. Um, laut Bundesregierung, einen „möglichst reibungslosen und zügigen" Übergang vom geltenden zum novellierten Bundes-Klimaschutzgesetz zu gewährleisten, hat die Bundesregierung den Expertenrat für Klimafragen am 19.04.2024 mit einem Sondergutachten im Sinne

[2] Die Ausfertigung der Novelle des Bundes-Klimaschutzgesetzes vom Bundespräsidenten steht zum Redaktionsschluss dieses Gutachtens (31.05.2024) noch aus. Die Feststellungen dieses Gutachtens sind entsprechend im Sinne der Vorgaben der Novelle des Bundes-Klimaschutzgesetzes verfasst.

[3] Im Folgenden wird mit Bundes-Klimaschutzgesetz oder KSG auf die KSG-Novelle 2024 referenziert.

[4] In diesem Dokument sind mit »Projektionsdaten 2024« die dem Expertenrat zugegangenen und im Folgenden beschriebenen Daten samt der begleitenden Dokumentation zum methodischen Vorgehen der Erstellung und einschließlich aller zugegangenen Annahmen zu übergreifenden und sektoralen Rahmendaten gemeint.



der Ergänzung von § 12 Abs. 1 KSG beauftragt: „Wie in § 12 Absatz 1 des Regierungsentwurfs zur KSG-Novelle vom 21. Juni 2023 vorgesehen, soll der ERK damit die Einhaltung der Jahresemissionsgesamtmengen nach Anlage 2 in Verbindung mit § 4 Absatz 2 in den Jahren 2021 bis einschließlich 2030 bewerten." (E-Mail Korrespondenz zwischen ERK und BMWK zur Beauftragung). Die Bundesregierung hat um Abgabe des Gutachtens bis zum 03.06.2024 gebeten.

6 Der Projektionsbericht 2024 wird erst nach der Erstellung des vorliegenden Sondergutachtens veröffentlicht. Als Basis für dieses Sondergutachten wurden dem Expertenrat am 15.04.2024 und in den Wochen danach folgende Unterlagen übermittelt:

- THG-Projektionen 2024 Kernindikatoren (öffentlich) (UBA 2024e)
- THG-Projektion 2024 Rahmendaten Datentabelle (öffentlich) (Öko-Institut und IREES 2024)
- THG-Projektion 2024 Rahmendatenpapier (öffentlich) (UBA 2024j)
- THG-Projektionen 2024 Ergebnisse kompakt (öffentlich) (UBA 2024i)
- THG-Projektionen 2024 für Deutschland – Instrumente (öffentlich) (UBA 2024k)
- THG-Projektion 2024 Arbeitshilfe Modelle (nicht öffentlich) (UBA 2024h)
- THG-Projektion 2024 Anteile ESR und berechnete ESR-Ziele für Deutschland (nicht öffentlich) (UBA 2024c)
- EU-Reporting:
    - Attachments: „Ab 15.03.2021 und danach alle zwei Jahre wird hier der Projektionsbericht aus dem jeweiligen Jahr, sowie weitere unterstützende Dateien hochgeladen." (EU 2024a)
    - Tabelle 1a: „THG-Projektionen nach Gasen und Kategorien" (EU 2024b)
    - Tabelle 1b: „Projektionen der berichteten THG-Emissionen und des Abbaus von Treibhausgasen im LULUCF Sektor, wie im nationalen Treibhausgasinventar berichtet" (EU 2024c)
    - Tabelle 2: „Indikatoren zur Überwachung und Bewertung der projizierten Fortschritte von Politiken und Maßnahmen. (Indikatoren nur eingefügt, wenn verwendet)" (EU 2024d)
    - Tabelle 3: „Berichterstattung über Parameter/Variablen für die Projektionen (falls verwendet)" (EU 2024e)
    - Tabelle 6: „Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse" (EU 2024f)
    - Tabelle 7: „Schlüsselparameter, die in der Sensitivitätsanalyse verändert wurden" (EU 2024g)

7 Neben den zur Verfügung gestellten Unterlagen fanden mehrere Austauschtreffen mit dem Umweltbundesamt, dem Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) und dem Forschungskonsortium der Projektionsdaten 2024 sowie dem Thünen-Institut statt. Es folgten schriftliche Frage- und Antwortrunden sowie Datennachlieferungen. Zudem gab es einen Vorstellungstermin eines Gutachtens zu den Projektionsdaten 2024 durch Prognos und das ifeu Institut (Prognos und ifeu 2024).

8 Das vorliegende Gutachten diskutiert zunächst die Anforderungen an die Projektionsdaten aus Sicht der Zielsetzung des Bundes-Klimaschutzgesetzes und leitet daraus ein mehrgliedriges Prüfschema ab (Kapitel 2). Danach wird die Prüfung der Projektionsdaten 2024 (ohne den Sektor LULUCF) für den Zeitraum 2021-2030 durchgeführt und mit einer zusammenfassenden Einschätzung des Expertenrats zur Zielerreichung abgeschlossen (Kapitel 3). Ergänzend werden auch die weiter in der Zukunft



liegenden Projektionsdaten 2024 für den Zeitraum 2031-2050 sowie die Projektionsdaten 2024 für den Sektor Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (LULUCF) eingeordnet und kommentiert (Kapitel 4). Abschließend untersucht der Expertenrat Anforderungen an den Prozess der Projektionsdatenerstellung und bewertet das derzeitige sowie das geplante Vorgehen der Bundesregierung (Kapitel 5). Abschließend werden die Verantwortlichkeiten und die Rollen in der Umsetzung des Bundes-Klimaschutzgesetzes dargestellt und erörtert (Kapitel 6).



2 Anforderungen und Prüfschema

9 Die Novelle des Bundes-Klimaschutzgesetzes weist den Projektionsdaten in Verbindung mit der Treibhausgasberichterstattung des Umweltbundesamtes die Rolle als Auslöser für die Notwendigkeit staatlichen Handelns zu (KSG, § 8 Abs. 1 Satz 1 KSG). Dabei werden im Gesetz die Projektionsdaten als „… quantitative Abschätzungen zu künftigen anthropogenen THG-Emissionen aus Quellen und zum Abbau solcher Gase durch Senken, bei denen die Auswirkungen von verabschiedeten und in Kraft gesetzten Politiken und Maßnahmen berücksichtigt werden“ definiert (§ 2 Nr. 10 KSG). Die Abschätzungen zum Abbau durch Senken werden allerdings für die Beurteilung der Notwendigkeit staatlichen Handelns nicht berücksichtigt.

10 Der Expertenrat geht davon aus, dass die Ermittlung der Projektionsdaten unter der Annahme erfolgt, dass sich grundsätzliche politische Rahmenbedingungen auf nationaler und europäischer Ebene nicht ändern und die relevante Gesetzeslage somit stabil bleibt. Gleichermaßen sieht er als Annahme gegeben, dass keine Disruptionen auftreten, die die Entwicklung des Emissionsgeschehens maßgeblich beeinflussen würden. Diese Annahmen liegen auch der vorgenommenen Prüfung und Bewertung der Projektionsdaten 2024 zugrunde.

11 In seinem Urteil zum Bundes-Klimaschutzgesetz aus dem Jahr 2023 hat das Oberverwaltungsgericht (OVG) Berlin-Brandenburg notwendige Kriterien für die Überprüfung der Projektionsdaten formuliert: „Nach der ständigen Rechtsprechung des Bundesverwaltungsgerichts liegt es bei planerischen Entscheidungen, die nicht allein auf der Erfassung eines gegenwärtigen Zustands, sondern auch auf einer Einschätzung in der Zukunft liegender Tatsachen beruhen, in der Natur der Sache, dass die Richtigkeit der Prognose nur eingeschränkt überprüfbar ist. Die zukünftige Entwicklung der tatsächlichen Verhältnisse enthält sich naturgemäß einer exakten Tatsachenfeststellung. Die mithin keiner Richtigkeitsgewähr unterliegenden Prognosen sind gerichtlich nur eingeschränkt daraufhin überprüfbar, ob sie methodisch einwandfrei erarbeitet worden sind, nicht auf unrealistischen Annahmen beruhen und ob das Prognoseergebnis einleuchtend begründet worden ist. Maßgeblich ist der bei der Aufstellung des Plans vorhandene tatsächliche und wissenschaftliche Erkenntnisstand“ (OVG Berlin-Brandenburg 2023, S. 49f).

12 Aus der übergreifenden Zielstellung des Bundes-Klimaschutzgesetzes, „die Erfüllung der nationalen Klimaschutzziele sowie die Einhaltung der europäischen Zielvorgaben zu gewährleisten“ (§ 1 Satz 1 KSG), ergeben sich nach Ansicht des Expertenrats darüber hinaus zusätzliche, inhaltliche Anforderungen an die zu verwendenden Projektionsdaten. Insbesondere müssen diese in Verbindung mit dem Auslösemechanismus aus § 8 Abs. 1 Satz 1 KSG geeignet sein, die angestrebte Zielerreichung mit hinreichender Sicherheit zu gewährleisten. Dies bedeutet: Da keine Nachsteuerung stattfindet, sofern nicht in zwei aufeinanderfolgenden Jahren die Jahresemissionsgesamtmenge das aggregierte THG-Budget überschreitet, muss dieser Unterschreitungstatbestand mit hinreichender Wahrscheinlichkeit sicherstellen, dass die KSG-Ziele auch tatsächlich erreicht werden.

13 Eine minimale Anforderung könnte daher lauten, dass für den Auslösemechanismus ein projizierter Emissionspfad herangezogen wird, der auf dem Stand des zum Zeitpunkt der Auslöseentscheidung aktuellsten Wissens *ebenso wahrscheinlich* über- wie unterschritten wird (nachfolgend: 50/50-Emissionspfad). Eine projizierte Zielverfehlung auf Basis eines solchen 50/50-Emissionspfads würde damit eine tatsächlich eintretende Zielverfehlung mindestens *ebenso wahrscheinlich wie unwahrscheinlich* identifizieren.

14 Neben der Angabe eines projizierten Emissionspfads müssen die Projektionsdaten also auch eine begründete Qualifizierung hinsichtlich der Eintrittswahrscheinlichkeit des ausgewiesenen Pfads enthalten. Ergänzende Angaben zur Breite des Unsicherheitskorridors helfen bei der Einordnung, insbesondere, wenn Emissionspfade für mehrere Wahrscheinlichkeitsniveaus ausgewiesen werden. Solch eine Qualifizierung hinsichtlich der Eintrittswahrscheinlichkeit ist in den Projektionsdaten 2024 nicht gegeben.

15 Aus den genannten Anforderungen leitet der Expertenrat ein mehrgliedriges Prüfschema ab:

i) Deskriptive Darstellung der Projektionsdaten 2024 und Abgleich mit den Vorgaben des Bundes-Klimaschutzgesetzes;

ii) Prüfung des methodischen Vorgehens bei der Ermittlung und Begründung der Projektionsdaten 2024 einschließlich der Bewertung der Konsistenz und Transparenz des Vorgehens;

iii) sowie deren Einordnung, insbesondere mit Bezug auf deren Eintrittswahrscheinlichkeit unter besonderer Berücksichtigung der Aktualität und Plausibilität der zugrunde gelegten Annahmen.

16 Auf der Grundlage der Ergebnisse der so strukturierten Prüfung formuliert der Expertenrat für Klimafragen eine Einschätzung, ob der 50/50-Emissionspfad oberhalb oder unterhalb des Emissionspfads der Projektionsdaten 2024 liegen würde. Basierend auf dem Vergleich dieses 50/50-Emissionspfads mit dem Emissionspfad der Projektionsdaten 2024 sowie den KSG-Zielwerten stellt der Expertenrat dann für alle Sektoren aggregiert fest, „inwieweit die Summe der Treibhausgasemissionen gemäß den Projektionsdaten die Summe der Jahresemissionsgesamtmengen nach Anlage 2 in Verbindung mit § 4 Abs. 2 in den Jahren 2021 bis einschließlich 2030 über- oder unterschreitet" (im Sinne von § 12 Abs. 1 Satz 2 KSG).



3 Prüfung der Projektionsdaten 2024 ohne LULUCF für den Zeitraum 2021-2030

17 Unmittelbarer Gegenstand des Prüfauftrags sind die Projektionsdaten 2024 für den Zeitraum 2021-2030, da nur diese laut Bundes-Klimaschutzgesetz derzeit einen möglichen Auslösemechanismus darstellen. Bis zum Jahr 2030 sollen die Treibhaugasemissionen schrittweise gemindert werden und im Jahr 2030 um mindestens 65 % unter denjenigen des Jahres 1990 liegen. Zusätzlich wird für diesen Zeitraum indirekt ein Emissionsbudget definiert. Dies erfolgt über Jahresemissionsgesamtmengen und den sogenannten Ausgleichsmechanismus (§ 4 Abs. 2 KSG). Der Ausgleichsmechanismus regelt, dass Unter- und Überschreitungen anteilig auf die verbleibenden Jahre bis zum nächsten Zieljahr (2030 bzw. 2040, § 3 Abs. 1 KSG) angerechnet werden.

3.1 Darstellung und Einordnung der projizierten THG-Emissionen ohne LULUCF für den Zeitraum 2021-2030

18 Im Folgenden wird die projizierte Entwicklung der THG-Emissionen gemäß der Projektionsdaten 2024 für die Periode bis 2030 beschrieben und eingeordnet, zunächst für das zentrale Mit-Maßnahmen-Szenario (MMS-Szenario), im Anschluss für die vom Forschungskonsortium berechneten Sensitivitäten.

3.1.1 MMS-Szenario

19 Die Projektionsdaten 2024 weisen insgesamt einen projizierten Rückgang der jährlichen THG-Emissionen (ohne LULUCF) von 674 Mt CO_2-Äq im Jahr 2023 auf 455 Mt CO_2-Äq im Jahr 2030 aus. Damit würden die THG-Emissionen (ohne LULUCF) um 32,5 % sinken. Abbildung 1 zeigt den Einfluss der einzelnen Sektoren zur Minderung der THG-Emissionen zwischen den historischen Daten für das Jahr 2023 (Emissionsdaten) und den Projektionsdaten 2024 für das Jahr 2030. Die projizierte Gesamtminderung beträgt 222 Mt CO_2-Äq., wovon die Energiewirtschaft mit 113 Mt CO_2-Äq. ungefähr 50 % der Minderungswirkung ausmacht. Die Sektoren Verkehr, Gebäude und Industrie tragen mit etwa 35 Mt CO_2-Äq. jeweils etwa 15 % zur projizierten Minderung bei.

Abbildung 1: Beitrag der einzelnen Sektoren zur projizierten THG-Minderung zwischen den Jahren 2023 und 2030 gemäß den historischen Daten für das Jahr 2023 (Emissionsdaten) und den Projektionsdaten 2024 für das Jahr 2030

Eigene Darstellung. Basierend auf Schätzung Emissionsdaten für das Jahr 2023 (UBA 2024b) und den Projektionsdaten 2024 (UBA 2024e) für das Jahr 2030.

20 Das übergeordnete Ziel von mindestens 65 % Minderung bis zum Jahr 2030 gegenüber 1990 (§ 3 Abs. 1 Nr. 1 KSG), entsprechend einer Höchstgrenze von 438 Mt CO_2-Äq., würde gemäß der Projektionsdaten 2024 mit 455 Mt CO_2-Äq. im Jahr 2030 daher knapp nicht erreicht werden (entsprechend 64 % Minderung).

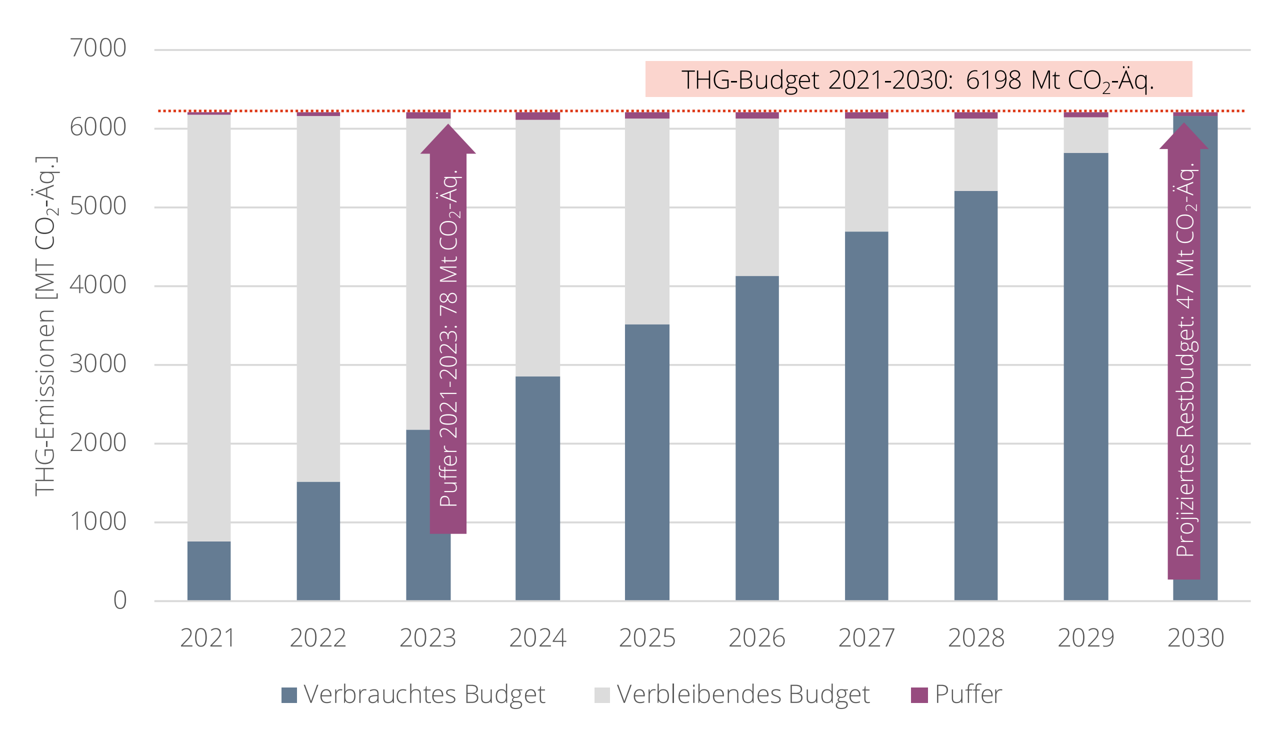
21 Das im Bundes-Klimaschutzgesetz vorgegebene Gesamtbudget der THG-Emissionen im Zeitraum von 2021-2030 in Höhe von 6 198 Mt CO_2-Äq. (Anlage 2 KSG) würde gemäß der Projektionsdaten 2024 mit 47 Mt CO_2-Äq. knapp eingehalten werden (siehe Abbildung 2). Die ausgewiesene Unterschreitung der KSG-Vorgabe kann als Saldo von zwei Bestandteilen verstanden werden: Eine tatsächlich bereits stattgefundene Unterschreitung der KSG-Zielemissionen in den Jahren 2021-2023 um 78,4 Mt CO_2-Äq. sowie eine projizierte Überschreitung der KSG-Ziele aus Anlage 2a KSG[5] für die Jahre 2024 bis 2030 um 31,7 Mt CO_2-Äq. Der Rückgang der THG-Emissionen und der Aufbau des Puffers in den Jahren 2021-2023 wurde vor allem durch verschiedene Krisen und Sondereffekte bedingt (siehe ERK 2023b; 2024a;

[5] Sektorziele für die Energiewirtschaft linear zwischen den Jahren 2022 und 2030 interpoliert.



Agora Energiewende 2024b; Prognos und ifeu 2024). Zur Ermittlung der Über- oder Unterschreitung der Jahresemissionsgesamtmengen werden für die Jahre 2021 und 2022 die Inventardaten des Umweltbundesamtes (UBA 2024b), für 2023 die Berechnung der Emissionsdaten des Umweltbundesamtes (UBA 2024a; 2024b), und für den Zeitraum 2024 bis 2030 die Projektionsdaten 2024 verwendet (UBA 2024e).

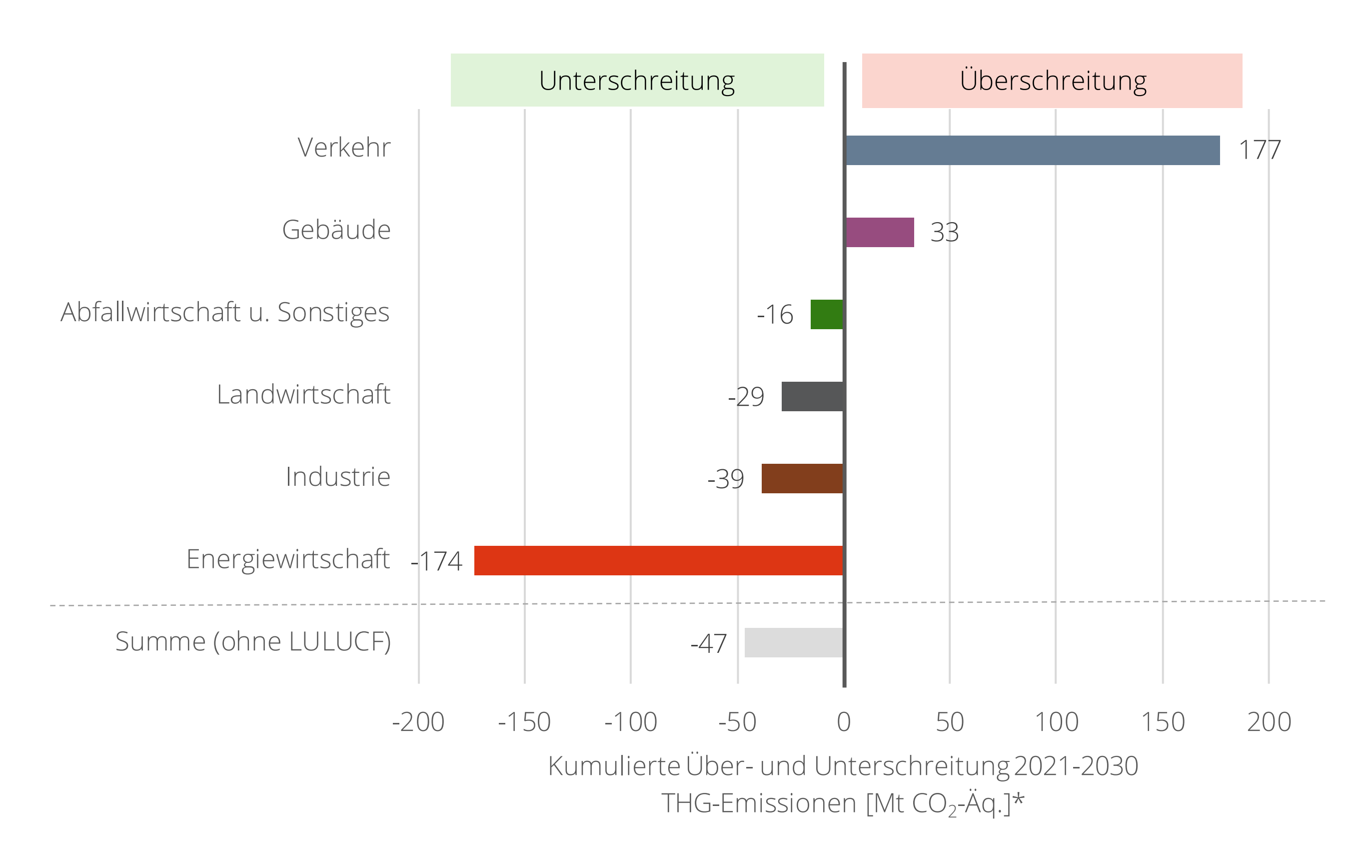
Abbildung 2: Historische und projizierte Entwicklung der THG-Emissionen im Vergleich zum THG-Budget der Jahre 2021-2030



Eigene Darstellung. Basierend auf dem Bundes-Klimaschutzgesetz, auf den historischen Emissionsdaten (UBA 2024a) und den Projektionsdaten 2024 (UBA 2024e).

22 Das Gesamtbudget bis zum Jahr 2030 würde gemäß der Projektionsdaten 2024 auf Grund von Über- und Unterschreitungen der projizierten kumulierten jährlichen Emissionsmengen der einzelnen Sektoren eingehalten werden. Sektoral würde die starke Übererfüllung vor allem der Energiewirtschaft mit 174 Mt CO_2-Äq. die Verfehlungen der Sektoren Verkehr und Gebäude rechnerisch ausgleichen (siehe Abbildung 3).

Abbildung 3: Abweichungen der sektoralen THG-Emissionen laut Projektionsdaten 2024 zu den kumulierten zulässigen Jahresemissionsmengen im Zeitraum 2021-2030 nach Sektoren und in Summe (ohne LULUCF)



Eigene Darstellung. Basierend auf dem Bundes-Klimaschutzgesetz, auf den historischen Emissionsdaten (UBA 2024a) und den Projektionsdaten 2024 (UBA 2024e). Negative Werte beschreiben eine kumulierte Unterschreitung der zulässigen Emissionsmengen 2021-2030. Positive Werte eine Überschreitung. *Diese berechneten Werte weichen leicht von den Werten des Umweltbundesamts in UBA (2024e) ab.[6]

23 Für den Sektor Verkehr weisen die Projektionsdaten 2024 einen projizierten Rückgang der THG-Emissionen von 146 CO_2-Äq. im Jahr 2023 auf 111 Mt CO_2-Äq im Jahr 2030 aus. Damit würde der Sektor die THG-Emissionen um 24 % gegenüber 2023 reduzieren. Im Verkehrssektor käme es mit einer Überschreitung um 177 Mt CO_2-Äq. gemäß der Projektionsdaten 2024 zu der stärksten Verfehlung der kumulierten Ziele bis 2030.

24 Für den Sektor Gebäude weisen die Projektionsdaten 2024 einen projizierten Rückgang der THG-Emissionen von 102 Mt CO_2-Äq. im Jahr 2023 auf 68 Mt CO_2-Äq. im Jahr 2030 aus. Damit würde der Sektor die THG-Emissionen um 33 % gegenüber 2023 reduzieren. Der Gebäudesektor würde sein kumuliertes Ziel bis zum Jahr 2030 um 33 Mt CO_2-Äq. verfehlen.

[6] Das liegt daran, dass das Umweltbundesamt bei der Anwendung des Ausgleichsmechanismus nicht die aktuellen Daten verwendet, sondern nur bis zum ersten Inventarbericht die Daten für die Berechnung mit einbezieht (siehe Ausführungen dazu im Prüfbericht 2024, ERK 2024a). Dadurch entstehen sektoral kleinere Abweichungen von bis zu 2,6 Mt CO_2-Äq. in der kumulierten Zielerreichung. In der Summe beträgt die Abweichung 0,7 Mt CO_2-Äq.



25 Für den Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges weisen die Projektionsdaten 2024 einen projizierten Rückgang der THG-Emissionen von 6 Mt CO_2-Äq. im Jahr 2023 auf 4 Mt CO_2-Äq. im Jahr 2030 aus. Damit würde der Sektor die THG-Emissionen um 33 % gegenüber dem Jahr 2023 reduzieren. Der Sektor Abfallwirtschaft würde sein kumuliertes Ziel bis zum Jahr 2030 um 16 Mt CO_2-Äq. unterschreiten.

26 Für den Sektor Landwirtschaft weisen die Projektionsdaten 2024 einen projizierten Rückgang der THG-Emissionen von 66 CO_2-Äq. im Jahr 2023 auf 57 Mt CO_2-Äq. im Jahr 2030 aus. Damit würde der Sektor die THG-Emissionen um 14 % gegenüber dem Jahr 2023 reduzieren. Der Sektor Landwirtschaft würde sein kumuliertes Ziel bis zum Jahr 2030 um 29 Mt CO_2-Äq. unterschreiten.

27 Für den Sektor Industrie weisen die Projektionsdaten 2024 einen projizierten Rückgang der THG-Emissionen von 155 Mt CO_2-Äq. im Jahr 2023 auf 122 Mt CO_2-Äq. im Jahr 2030 aus. Damit würde der Sektor die THG-Emissionen um 21 % gegenüber dem Jahr 2023 reduzieren. Der Sektor Industrie würde sein kumuliertes Ziel bis zum Jahr 2030 um 39 Mt CO_2-Äq. unterschreiten, wobei 22 Mt CO_2-Äq. dieses Puffers aus den Krisenjahren 2021-2023 stammen (siehe ERK 2024a).

28 Für den Sektor Energiewirtschaft weisen die Projektionsdaten 2024 einen projizierten Rückgang der THG-Emissionen von 205 Mt CO_2-Äq. im Jahr 2023 auf 92 Mt CO_2-Äq. im Jahr 2030 aus. Damit würde der Sektor die THG-Emissionen um 55 % gegenüber dem Jahr 2023 reduzieren. Der Sektor Energiewirtschaft würde mit einer Unterschreitung des impliziten THG-Budgets der Jahre 2021-2030 um 174 Mt CO_2-Äq. am stärksten zur Zielerreichung bis 2030 beitragen.

29 Im Landwirtschaftssektor und bei der Abfallwirtschaft sind Methodenänderungen, die zu einer Anpassung der Emissionsfaktoren geführt haben, relevant für die Zielerreichung. Der projizierte Puffer beträgt 29 Mt CO_2-Äq. in der Landwirtschaft und 16 Mt CO_2-Äq. im Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges. Wären auch die Zielwerte in Anlage 2 und Anlage 2a des KSG entsprechend den Methodenänderungen angepasst worden, würden die Puffer geringer ausfallen (siehe Kapitel 3.3.3.4).

30 Die nationalen Verpflichtungen unter der europäischen Lastenteilung (ESR) würden gemäß der Projektionsdaten 2024 ab dem Jahr 2024 verfehlt. Unter die Lastenteilung fallen die THG-Emissionen, die weder unter den europäischen Emissionshandel (EU-ETS) fallen noch dem LULUCF-Sektor zuzuordnen sind.[7] Die ESR-Ziele für Deutschland[8] und die historischen und projizierten Emissionen, die unter die ESR fallen, sind in Abbildung 4 dargestellt. Bis zum Jahr 2024 würden die ESR-Ziele eingehalten, danach käme es auf Basis der Projektionsdaten 2024 zu einer Verfehlung bis 2030. Bis zum Jahr 2030 ergäbe sich eine Überschreitung der ESR-Ziele in Höhe von 126 Mt CO_2-Äq. Kommt es trotz Nutzung der Flexibilitätsoptionen[9] zu keiner Einhaltung der Ziele, droht Deutschland ein

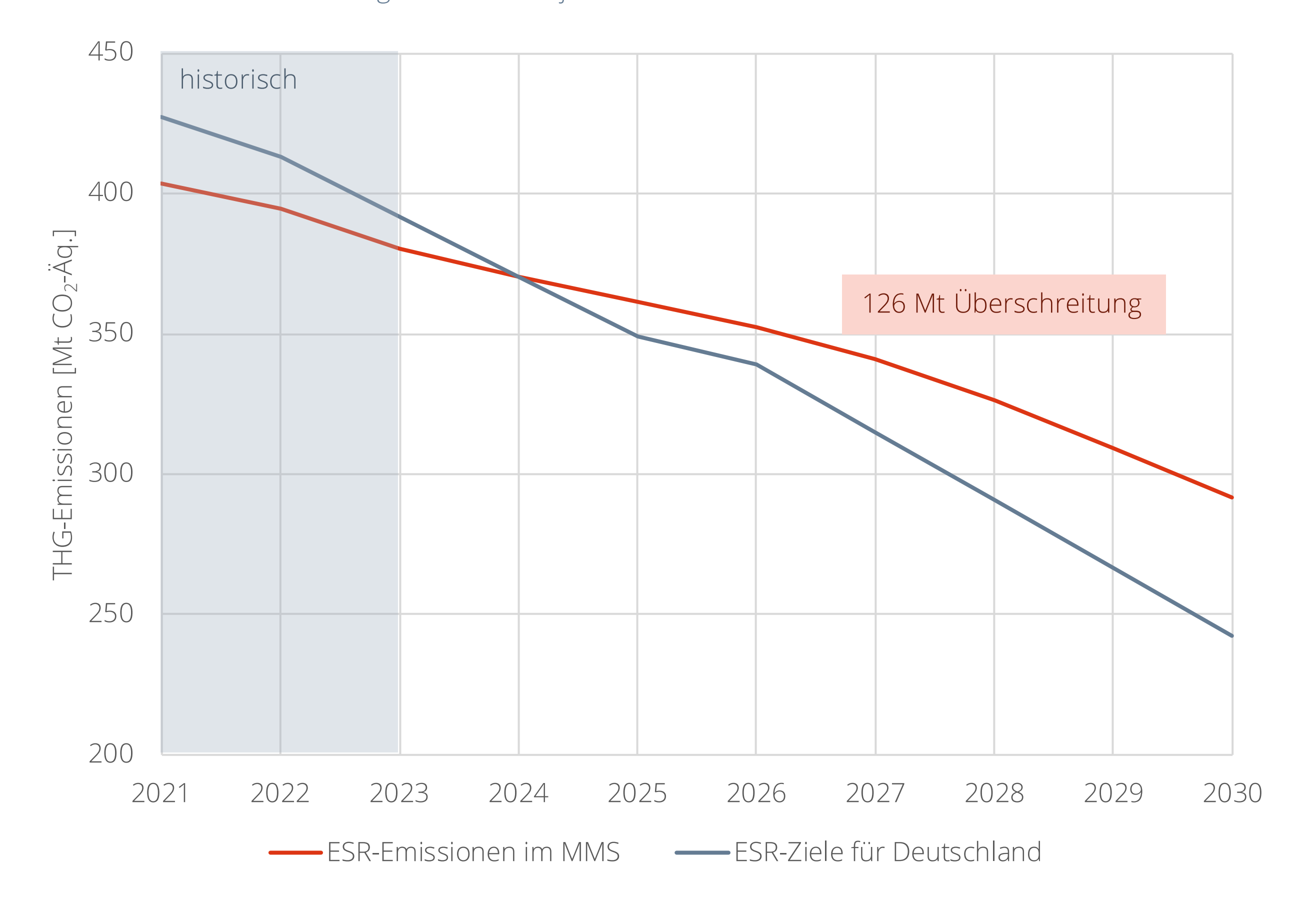
[7] Das betrifft die THG-Emissionen der Sektoren Gebäude, Verkehr, Landwirtschaft sowie Abfallwirtschaft und Sonstiges mit geringen Ausnahmen komplett. Auch kleinere Teile des Industrie- und Energiewirtschaftssektors fallen unter die ESR (siehe Abbildung A 1 im Anhang).

[8] Die verbindliche Emissionszuweisung der ESR (auch annual emission allocations, AEA) für Deutschland für das Jahr 2030 beträgt minus 50 % gegenüber den THG-Emissionen vom Jahr 2005 (EU 2023). Dies entspricht THG-Emissionen von 242 Mt CO_2-Äq. im Jahr 2030. Für die Jahre 2021 bis 2025 sind die Jahresziele festgelegt (Europäische Kommission 2023). Für die Jahre 2026 bis 2029 werden die Jahresziele vom Umweltbundesamt nach EU (2023, Artikel4) auf Basis der aktuellen historischen Emissionsdaten von den Jahren 2021 bis 2023 berechnet.

[9] Es bestehen drei Flexibilitätsoptionen unter der ESR (EU 2023, Artikel 5-7): Erstens können bei einer Übererfüllung der Ziele die THG-Emissionen auf nachfolgende Jahre übertragen werden. In begrenztem Umfang können auch THG-Emissionen aus dem folgenden Jahr vorweggenommen werden. Jährliche Schwankungen können so ausgeglichen werden. Zweitens können in begrenztem Umfang THG-Emissionen aus dem LULUCF Sektor verrechnet werden, wenn dieser eine Senke darstellt. Andersherum werden bei Verfehlung der Ziele im LULUCF Sektor die THG-Emissionen, die über dem Ziel liegen, von den ESR-

Vertragsverletzungsverfahren. Das kann der Fall sein, wenn keine anderen europäischen Staaten Emissionsmengen zum Handel mit Deutschland übrig haben. Aktuell wird ein hohes Defizit von 574 Mt CO_2-Äq. europaweit projiziert (EEA 2024). Zudem bewertet die Europäische Kommission jährlich die nationale Zieleinhaltung unter der ESR. Kommt ein Mitgliedsstaat seinen jährlichen Verpflichtungen nicht nach, muss der Staat innerhalb von drei Monaten einen Maßnahmenplan vorlegen (EU 2023, Artikel 8).

Abbildung 4: THG-Ziele und THG-Emissionen gemäß der Europäischen Lastenteilung 2021-2030 historisch und gemäß den Projektionsdaten 2024



Eigene Darstellung. Basierend auf UBA (2024a) und UBA (2024c).

3.1.2 Sensitivitäten

31 In den Projektionsdaten 2024 werden verschiedene Sensitivitätsanalysen durchgeführt, um den Einfluss einer Variation einiger zentraler Rahmendaten auf das Modellergebnis zu quantifizieren. Insgesamt werden in UBA (2024i) und EU (2024f) die Ergebnisse von 15 verschiedenen Sensitivitäts-Szenarien bereitgestellt. Die Variationen betreffen unter anderem die Daten Wirtschaftswachstum, Bevölkerungswachstum, EU-ETS-Preise, Brennstoffpreise und Produktionsmengen der Industrie. In

Zielen abgezogen. Die dritte Flexibilität ist der Handel mit anderen Ländern. Unsicher ist jedoch, ob andere Staaten entsprechende Zielunterschreitungen in hinreichendem Umfang erreichen.



Öko-Institut et al. (2023) sind darüber hinaus Sensitivitäts-Szenarien zu weiteren Rahmendaten enthalten, wie beispielsweise den BEHG-Preis, die zur Abschätzung der Größenordnung des Einflusses herangezogen werden können.

32 Für die einzelnen Sensitivitäts-Szenarien wird jeweils eine Datenreihe variiert und ein neuer Emissionspfad basierend auf dem variierten Entwicklungspfad für einen einzelnen Sektor modelliert (siehe Tabelle A 2 im Anhang). Dabei hängt das Ergebnis der neuen Modellierung vom variierten Entwicklungspfad in dem Sensitivitäts-Szenario ab. Je deutlicher die Abweichung zur Annahme im MMS, desto größer kann der Effekt auf die THG-Emissionen erwartet werden. Die Modellierung wird in den einzelnen Sektoren isoliert durchgeführt, es findet keine Modellierung des gesamten Modellverbunds statt. Die Sensitivitätsanalyse für das Wirtschaftswachstum und die Bevölkerungsentwicklung wird mithilfe einer Dekompositionsanalyse abgeleitet und ist nicht das Ergebnis einer Modellierung.[10] Daher wird der Einfluss dieser beiden Rahmendaten nur sektorenübergreifend angegeben.

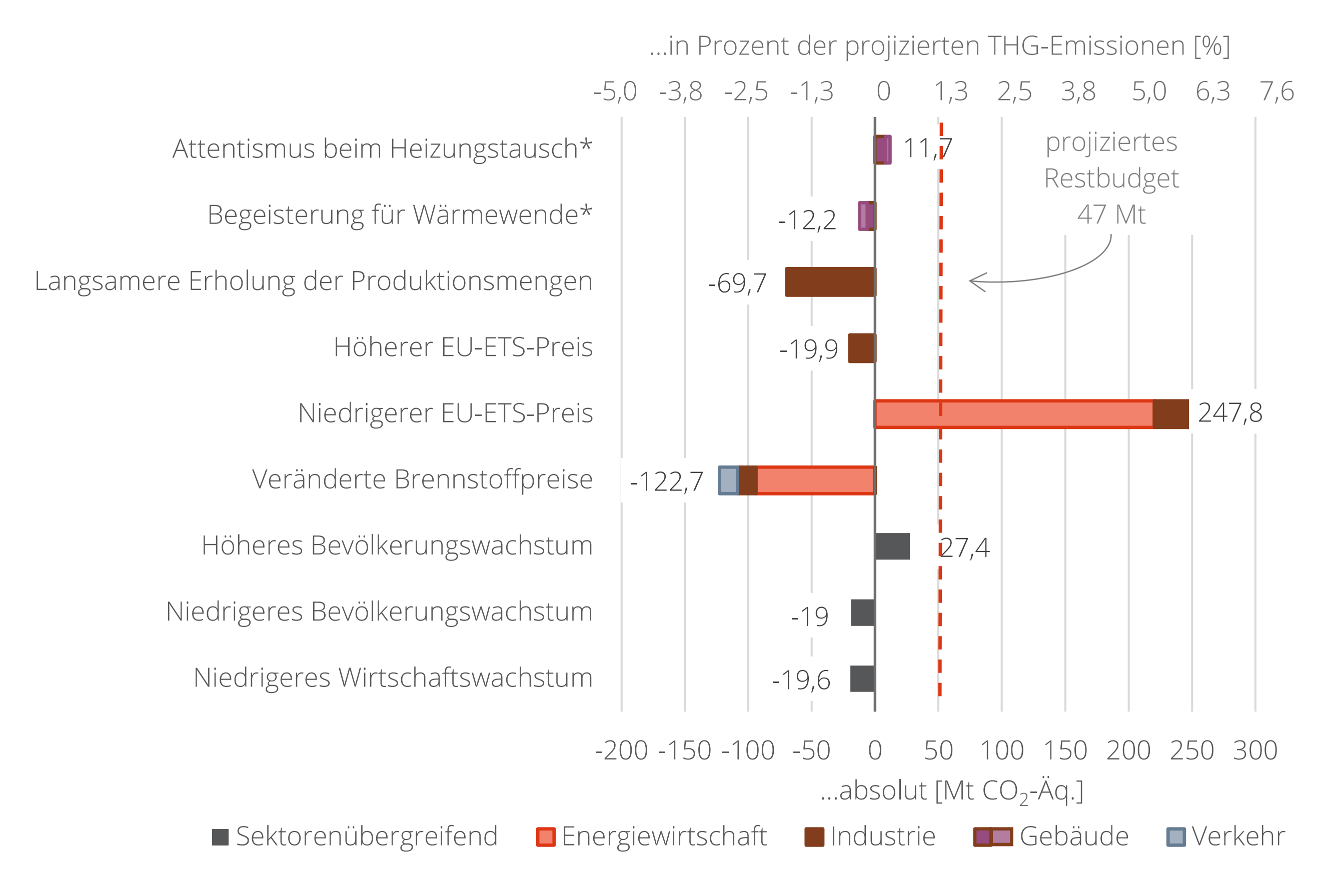
33 Abbildung 5 fasst die Ergebnisse der Sensitivitätsanalysen zusammen. Für Sektoren, die in dieser Abbildung nicht dargestellt sind, wurde keine Sensitivitätsanalyse durchgeführt. Im Vergleich dieser Sensitivitäten hat der niedrigere EU-ETS-Preis den größten emissionserhöhenden Einfluss. Dieser liegt in der Sensitivitätsanalyse mit im Mittel 60,9 Euro_{2022}/t CO_2 über die Jahre 2024 bis 2030 deutlich unter dem Preis im MMS mit im Mittel 102,3 Euro_{2022}/t CO_2 (siehe auch Abbildung A 2 im Anhang). Bis zum Jahr 2030 ergäben sich dadurch in Summe 248 Mt CO_2-Äq. zusätzliche THG-Emissionen in den Sektoren Energiewirtschaft und Industrie. Dies würde zu einer deutlichen Überschreitung der zulässigen Emissionsgesamtmenge in den einzelnen Jahren und im Budget führen. Der aktuelle Jahresdurchschnitt des EU-ETS-Preises für das Jahr 2024 liegt bei 58 Euro_{2022}/t CO_2 und damit in einer ähnlichen Größenordnung wie in der Sensitivitätsanalyse (siehe auch Kapitel 3.3.1). Für einen Anhaltspunkt, bei welcher Veränderung im EU-ETS-Preis bereits das projizierte Restbudget in Höhe von 47 Mt CO_2-Äq. aufgebraucht wäre, wurde vom Expertenrat eine einfache Überschlagsrechnung angestellt. Diese basiert auf der mittleren Veränderung der THG-Emissionen pro Euro/t CO_2 verändertem EU-ETS-Preis. Laut dieser Abschätzung wäre der Emissionspuffer bereits bei einem im Mittel um 8 Euro/t CO_2 geringeren EU-ETS-Pfad aufgebraucht.[11]

[10] Dabei werden die THG-Emissionen mithilfe einer Dekompositionsanalyse als Funktion von zentralen, vorab definierten Faktoren ausgedrückt (siehe Öko-Institut et al. (2023) für eine Beschreibung der Dekompositionsanalyse und der verwendeten Faktoren). Um die THG-Emissionen bei variiertem Entwicklungspfad des Wirtschaftswachstums bzw. der Bevölkerung zu bestimmen, wird der jeweilige Faktor in der Dekomposition variiert, während alle übrigen Faktoren konstant gehalten werden. Durch das Produkt des variierten Faktors mit den übrigen Faktoren wird der Emissionspfad der Sensitivitätsanalyse bestimmt.

[11] Für diese Abschätzung wird ausgehend von der Sensitivitätsanalyse das Verhältnis der kumulierten Veränderung der THG-Emissionen bis 2030 und der mittleren Veränderung des EU-ETS-Preises berechnet. Basierend auf diesem Verhältnis wird abgeleitet, welche Veränderung des EU-ETS-Preises zu einer kumulierten Veränderung der THG-Emissionen in Höhe von 47 Mt CO_2-Äq. führen würde. Diese Berechnung stellt lediglich eine vereinfachte Abschätzung dar, die nicht die Wirkzusammenhänge im Modell abbildet und einen linearen Zusammenhang zwischen EU-ETS-Preisen und THG-Emissionen unterstellt. Eine genauere Abschätzung könnte durch weitere Sensitivitätsanalysen erreicht werden, die auf Modellierungen basieren.



Abbildung 5: Ergebnisse der Sensitivitätsanalysen gemäß der Projektionsdaten 2024, kumuliert über den Zeitraum 2024-2030



Eigene Darstellung. Daten basierend auf (UBA 2024i) und (EU 2024f). Die Sensitivitätsanalysen werden jeweils für die dargestellten Sektoren berechnet. Wechselwirkungen zwischen den Sektoren werden in den Sensitivitätsanalysen nicht berücksichtigt. Die Sensitivitäten für Bevölkerungswachstum und Wirtschaftswachstum basieren auf einer Dekomposition und sind daher nicht das Ergebnis einer neuen Modellierung. *Im Sensitivitäts-Szenario „Attentismus beim Heizungstausch" wird von einer um 10 % (dunkel-lila) bzw. 20% (hell-lila) verlängerten Lebensdauer von Heizungen ausgegangen, beim Szenario „Begeisterung für Wärmewende" von einer um 5 % (dunkel-lila) bzw. 10 % (hell-lila) verkürzten Lebensdauer.

34 Die Sensitivitätsanalysen verdeutlichen die Abhängigkeit der Ergebnisse von den Annahmen zu zentralen exogenen Rahmendaten. Sie zeigen, dass es bei veränderten Rahmendaten auch zu deutlichen Überschreitungen oder auch stärkeren Unterschreitungen der Jahresemissionsmengen kommen kann. Sie spiegeln aber nur einzelne alternative Entwicklungen der Rahmendaten wider. Zudem sind wichtige Einflussfaktoren auf die THG-Emissionen, welche aus heutiger Sicht hohe Unsicherheiten aufweisen, nicht variiert worden. Dazu gehören insbesondere der Ausbaupfad der Stromerzeugungsanlagen aus erneuerbaren Energieträgern, die Parameter der Transformationsgeschwindigkeit in den Verbrauchssektoren, Preisvariationen bei BEHG und EU-ETS2 und die Verfügbarkeit von Biomasse sowie Wasserstoff und anderen synthetischen Energieträgern. Insgesamt spannen die ermittelten Sensitivitäten daher nicht den Raum der möglichen Entwicklungspfade auf. Darüber hinaus gibt es in den vorliegenden Sensitivitätsanalysen einige



methodische Limitierungen, die laut Umweltbundesamt (UBA) durch das begrenzte finanzielle und zeitliche Budget begründet sind. Diese umfassen folgende Aspekte:

i) Die Sensitivitätsanalysen werden nur für einzelne alternative Entwicklungspfade durchgeführt. Auch werden in den Sensitivitätsanalysen nicht alle Sektoren abgedeckt.

ii) Die Sensitivitäten werden nicht im Modellverbund modelliert, sondern nur im Einzelsektor und ohne Berücksichtigung von Wechselwirkungen zwischen den Sektoren (wie beispielsweise die Wechselwirkung zwischen Energiewirtschaft und Industrie bei niedrigem EU-ETS-Preis).

iii) Es werden keine Wechselwirkungen zwischen den Rahmendaten abgebildet, wie beispielsweise zwischen Brennstoffpreisen und EU-ETS-Preisen. Dies kann dazu führen, dass in den Sensitivitäts-Szenarien die Daten untereinander nicht konsistent sind.

iv) Die Sensitivitätsanalysen für das Wirtschaftswachstum und die Bevölkerungsentwicklung, die auf einer Dekomposition basieren, stellen eine starke Vereinfachung dar, die Wirkzusammenhänge im Modell nicht abbildet.

3.1.3 Vergleich zu historischen Daten durch Dekomposition

35 Die Entwicklung der THG-Emissionen kann mittels einer sektorenübergreifenden Dekompositionsanalyse rechnerisch in verschiedene Faktoren zerlegt werden. Dabei wird die gesamte Veränderung der THG-Emissionen den folgenden fünf Faktoren zugeordnet:[12]

i) Bevölkerungsentwicklung: Anzahl der Einwohner*innen

ii) Wirtschaftsleistung: Bruttoinlandsprodukt (BIP) pro Kopf

iii) Energieintensität: Endenergieverbrauch (EEV) pro BIP

iv) Umwandlungsverluste: Primärenergieverbrauch (PEV) pro EEV

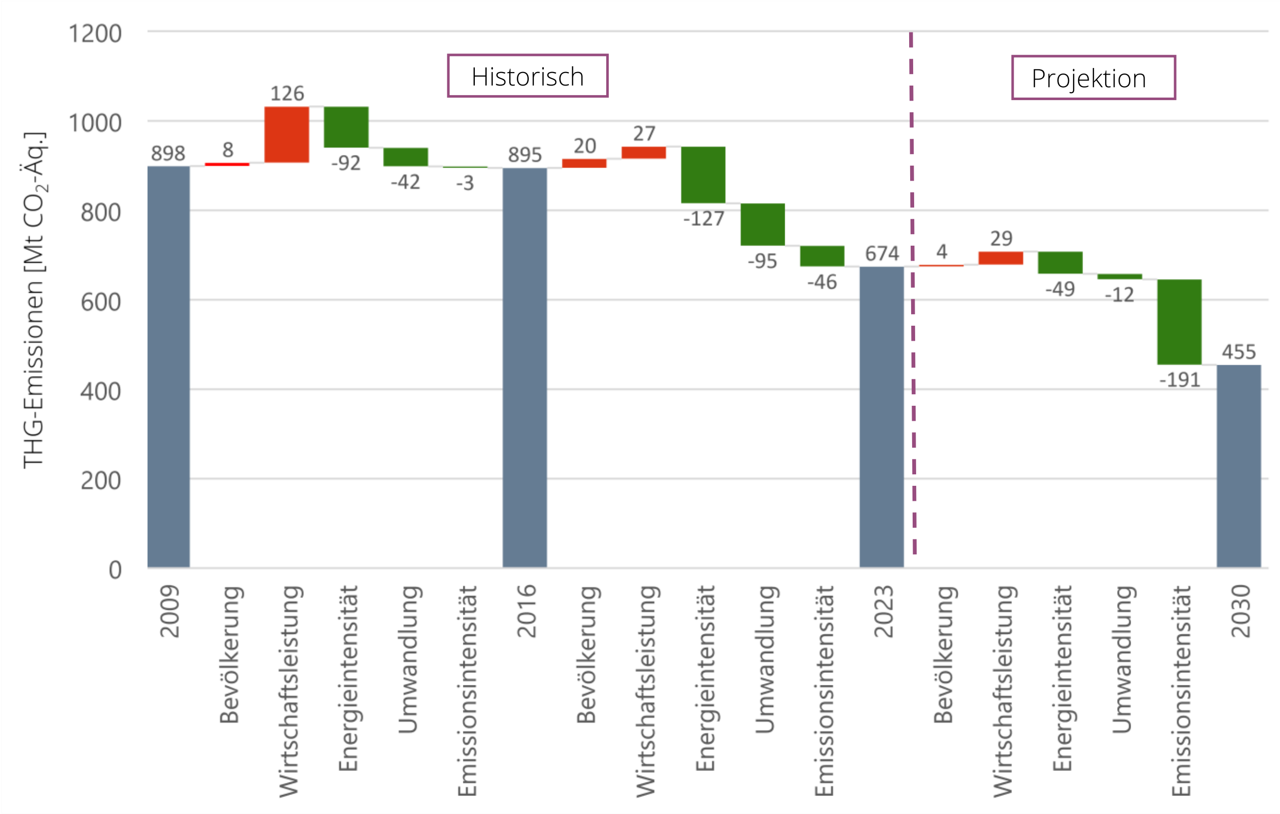
v) Emissionsintensität: THG-Emissionen pro PEV

36 Die Dekomposition wird basierend auf historischen Daten für die Jahre von 2009 bis 2023 und basierend auf projizierten Daten für die Jahre von 2024 bis 2030 durchgeführt (siehe Abbildung 6)[13]. Dies ermöglicht eine Einordnung der projizierten Entwicklung der Faktoren und des zugeordneten Beitrags zu den THG-Emissionen im Vergleich zur historischen Entwicklung. Für eine detaillierte Diskussion der historischen Entwicklung wird auf ERK (2022), ERK (2023b) und ERK (2024a) verwiesen.

[12] Eine Beschreibung des methodischen Vorgehens findet sich in ERK (2024b).

[13] Dabei wird jeweils die Veränderung zwischen den Stützjahren dargestellt, d.h. die Veränderung der THG-Emissionen im Jahr 2016 gegenüber dem Jahr 2009, die Veränderung der THG-Emissionen im Jahr 2023 gegenüber dem Jahr 2016 und die Veränderung der projizierten THG-Emissionen im Jahr 2030 gegenüber den THG-Emissionen im Jahr 2023. Die ersten beiden Zeiträume stellen somit die historische Veränderung dar, wohingegen der letzte Zeitraum die projizierte Veränderung gegenüber den letzten berechneten THG-Emissionen darstellt

Abbildung 6: Dekomposition der sektorenübergreifenden historischen und projizierten THG-Emissionen



Eigene Darstellung. Faktoren: Bevölkerungsentwicklung (Anzahl der Einwohner*innen), Wirtschaftsleistung (Bruttoinlandsprodukt (BIP) pro Kopf), Energieintensität (Endenergieverbrauch (EEV) pro BIP), Umwandlungsverluste (Primärenergieverbrauch (PEV) pro EEV), Emissionsintensität (THG-Emissionen pro PEV). Für die Jahre 2009-2023 stammen die Daten zur Bevölkerung aus Destatis (2024d) und Destatis (2024c), für das BIP aus Destatis (2024e) Für die Jahre 2009-2023 stammen die Daten zur Bevölkerung aus Destatis (2024d) und Destatis (2024c), für das BIP aus Destatis (2024e), für den Endenergie- und Primärenergieverbrauch aus AGEB (2023) und AGEB (2024) und für die THG-Emissionen aus UBA (2024a). Für die Jahre ab 2024 werden die Projektionsdaten 2024 verwendet (Öko-Institut und IREES 2024).

37 Aus Abbildung 6) sind folgende Entwicklungen ablesbar:

i) Das angenommene Bevölkerungswachstum fällt geringer aus als in der durch hohe Migration geprägten Vorperiode 2016-2023, aber in etwa auf dem Niveau des Zeitraums 2009-2016 (siehe die vertiefende Diskussion in Kapitel 3.3.1.1). Dadurch wird dem Bevölkerungswachstum ein geringerer Anstieg der projizierten THG-Emissionen als in der Vorperiode zugeordnet.

ii) Die projizierte Veränderung der Wirtschaftsleistung ist vergleichbar mit dem Wert der Vorperiode, liegt aber deutlich unter der starken Wirtschaftsentwicklung nach der Finanzkrise ab 2009 (siehe die vertiefende Diskussion in Kapitel 3.3.1.1). Der Wirtschaftsleistung wird entsprechend ein Anstieg der projizierten THG-Emissionen in etwa der Höhe der Vorperiode zugeordnet.

iii) Die Summe der drei Faktoren Energieintensität, Umwandlungsverluste und Emissionsintensität liegt mit errechneten -252 Mt CO_2-Äq. in etwa auf dem Niveau der Vorperiode (-268 Mt CO_2-Äq.), aber deutlich über der Veränderung im Zeitraum 2009-2016 (-137 Mt CO_2-Äq). Die Veränderungsgeschwindigkeit würde also auf dem bisherigen Niveau bleiben, sich aber auch nicht merklich erhöhen.



iv) Die Struktur der relativen Beiträge der drei Effekte Energieintensität, Umwandlungsverluste und Emissionsintensität unterscheidet sich deutlich von den beiden Vorperioden. Insbesondere die im historischen Vergleich geringe Veränderung von Energieintensität und Umwandlungsverlusten fällt ins Auge.

38 Eine denkbare Erklärung für den laut Projektionsdaten 2024 deutlich geringer ausgeprägten Rückgang der Energieintensität könnte in der (exogen gesetzten) Annahme begründet sein, dass in der Industrie kein anhaltender Strukturwandel stattfindet (siehe 3.3.3.1). Vielmehr kehren die Produktionsmengen der energieintensiven Branchen bis 2028 auf das Vorkrisenniveau zurück. Auch eine in der Modellierung angenommene Abschwächung des Effizienzfortschritts, beispielsweise in der Industrie, könnte ein Grund für diese Entwicklung sein.

39 Auch die Veränderung der Umwandlungsverluste fällt in den Projektionsdaten 2024 deutlich geringer aus als insbesondere im Zeitraum von 2016-2023. Für den Zeitraum von 2023-2030 verlaufen Endenergieverbrauch und Primärenergieverbrauch in den Projektionsdaten 2024 weitgehend parallel, trotz der unterstellten starken Elektrifizierung und der starken Zunahme der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energieträgern (statistisch anzunehmender Wirkungsgrad: 100 %). Dieses Ergebnis ist auffällig und legt eine vertiefende Analyse nahe.

40 Der weitaus größte Beitrag zur Emissionssenkung zwischen 2023 und 2030 wird in den Projektionsdaten 2024 dem Faktor Emissionsintensität zugewiesen. Dies lässt sich insbesondere durch das unterstellte deutlich stärkere Anwachsen von Wandlern erneuerbarer Energien als in der Vorperiode erklären (allein +213 TWh Strom aus erneuerbaren Quellen im Sektor Energiewirtschaft) und erscheint *prima facie* damit nicht unplausibel. Überdies dürfte auch der modellierte Anstieg der Stromimporte zu diesem Effekt beitragen, da die THG-Emissionen von Stromimporten nach dem Territorialprinzip im Ausland bilanziert werden. In den vergangenen Perioden ist der rechnerisch mindernde Beitrag der Emissionsintensität zudem auch deshalb niedriger, weil sich der Effekt des Kernenergieausstiegs und der Ausbau der Energiebereitstellung durch erneuerbare Energieträger teilweise ausgeglichen haben dürften.

41 Insgesamt wirft die Dekompositionsanalyse der Projektionsdaten 2024 etliche Fragen hinsichtlich der stark veränderten faktoriellen Zusammensetzung der Emissionsminderung im Vergleich zur Vorperiode auf. Auf den ersten Blick erscheint insbesondere die geringe Reduktion der Umwandlungsverluste bei gleichzeitig starkem Rückgang der Emissionsintensität wenig plausibel. Die Ermittlung möglicher Ursachen würde eine tiefergehende Analyse sämtlicher Daten erfordern, beispielsweise durch die Durchführung einer Dekompositionsanalyse in den einzelnen Sektoren, die im Kontext dieses Berichts nicht geleistet werden konnte.

3.2 Prüfung und Einordnung des methodischen Vorgehens im Modellverbund

42 Das methodische Vorgehen zur Ermittlung der Projektionsdaten 2024 entspricht der des Projektionsberichts 2023 (Öko-Institut et al. 2023). Der eigentliche Projektionsbericht für 2024 liegt zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieses Gutachtens noch nicht vor. Daher kann lediglich auf die im Projektionsbericht 2023 hinterlegte Dokumentation der verwendeten Methode bei der Einzelmodellierung der Sektoren und des Modellverbunds zurückgegriffen werden. Vertiefend hat der Expertenrat gemeinsam mit dem Forschungskonsortium die Einzelmodelle und deren Verbund im Rahmen der durchgeführten Workshops und durch Beantwortung von Fragelisten nachvollzogen (siehe Kapitel 1 RZ 7).

43 Die Projektionsdaten 2024 wurden in einem Modellverbund ermittelt, der auf separaten, teils sehr detaillierten Modellen für die einzelnen Sektoren aufbaut (siehe Abbildung 7). Dabei ist zunächst zu unterscheiden zwischen den energiebedingten THG-Emissionen in den Nachfragesektoren Industrie, Gebäude, Verkehr und - daraus abgeleitet - der Energiewirtschaft und den THG-Emissionen aus Industrieprozessen sowie in den Sektoren Landwirtschaft, Abfall und LULUCF. In den Nachfragesektoren wird anhand von Rahmendaten, die überwiegend exogen in die Modelle eingehen, die Veränderung des Kapitalstocks und dessen Einsatz mit verschiedenartigen Entscheidungsmodellen abgebildet. Das ermöglicht insbesondere die Erfassung von Wirkzusammenhängen von Maßnahmen mit direkter oder indirekter Wirkung auf Investitionsentscheidungen. Aus diesen Analysen ergeben sich die sektoralen Brennstoffbedarfe sowie ein endogener Strombedarf. Dieser Strombedarf wird mit zusätzlichen Annahmen in einem zeitlich stündlich und räumlich national aufgelösten Strommarktmodell verarbeitet. Für die Ermittlung der THG-Emissionen aus Verbrennungsprozessen sind weitere Anpassungen erforderlich, um die sektorale Abgrenzung gemäß der Inventarberichterstattung des Umweltbundesamts möglichst gut zu treffen. Die verwendeten Emissionsfaktoren orientieren sich an den vom Umweltbundesamt im Rahmen der Inventarberichterstattung verwendeten Daten. Für die nicht-energiebedingten Sektoren werden jeweils eigenständige Modelle innerhalb des Modellverbunds verwendet (siehe Abbildung 7).

Abbildung 7: Darstellung des Modellverbunds durch das Forschungskonsortium

ENUSEM – Version 2
Brennstoffe
Nichtbrennstoffe
Emissionen
Andere Daten
Sektormodelle Energie
Sonstige Sektor-modelle
ENUSEM-Kompilation
ENUSEM-Dissemination
PowerFlex
ENUSEM-Integration
TEMPS
LaWiEnMod
Invert/EE-Lab
FORECAST-Residential
FORECAST-Tertiary
FORECAST-Industry
Sub-sektoren
Heizwerke, Raffinerien, Kokereien, Verdichter
brennstoffbedingte Emissionen
ETS/ESR/BEHG-Modul
Modul Diffus
IPPU-Modul
Aggregation Energie
Aggregation Emissionen
Primärenergie-verbrauch
Endenergie-verbrauch
Stromverbrauch
Sektorale Emissionen
Emissionen nach Gasen
Emissionen in CRF-Struktur
Emissionen in KSP-Struktur
ETS/ESR/BEHG
F-Gas-Model
Landwirtschaft
LULUCF
IPCC Waste Model

Eigene Darstellung. Übernommen aus Öko-Institut et al. (2023).



44 Ergebnis der Modellierung sind: i) die Entwicklung der THG-Emissionen im Szenario „Mit-Maßnahmen" (MMS), ii) die Sensitivitäten für den Zeitraum 2024-2050[14] sowie, iii) darunter liegend, eine reichhaltige Darstellung der zugehörigen Aktivitätsgrößen und weiterer modellendogener Parameter (siehe Datenanhang Kernindikatoren UBA 2024e) sowie EU-Reporting Tabellen (siehe Kapitel 1 RZ6). Dabei werden die Daten in der geeigneten Auflösung bereitgestellt, also nach den Berichtssektoren sowie nach EU-ETS und ESR.

45 Nachfolgend ordnet der Expertenrat die in den Projektionsdaten 2024 verwendete Methode entlang der Kriterien externe Konsistenz, interne Konsistenz und Transparenz ein:

i) Externe Konsistenz[15]: Betrachtungsgegenstand der Modellierung ist die gesamte deutsche Volkswirtschaft, mit einer separaten Rechnung für den Sektor LULUCF. Allerdings werden volkswirtschaftliche Zusammenhänge, beispielsweise Rückwirkungen des im Modell erfassten Investitionsgeschehens auf Konsum, Investitionen und Sparen im Aggregat nicht bzw. nur im Nachgang[16] modelliert. Deren Rückwirkungen auf die unterstellten Investitionen werden allerdings nicht modelliert. Es handelt sich mithin um ein techno-ökonomisches Partialmodell. Hierin sieht der Expertenrat eine wesentliche Schwäche des verfolgten Ansatzes, da wichtige Wechselwirkungen nicht erfasst werden, beispielsweise zwischen Klimapolitik, Wertschöpfung, Import/Export, Beschäftigung, Budgets privater Haushalte und Staatsfinanzen. Diese Wechselwirkungen sind insbesondere angesichts der Dimension des Finanzbedarfs für den Umbau der Volkswirtschaft zur Klimaneutralität von Relevanz. Allein für den Umbau der Stromnetze sprechen jüngste Schätzungen der Bundesnetzagentur von etwa 500 Mrd. Euro bis zum Jahr 2045 (Übertragungsnetzbetreiber 2023; BRH 2024). Damit ergeben sich naturgemäß vielfältige Unschärfen in der Modellierung, zum Beispiel hinsichtlich der in Zukunft tatsächlich vorhandenen Finanzmittel zur Hinterlegung bestimmter klimapolitischer Maßnahmen.

ii) Interne Konsistenz:[17] Ferner sieht der Expertenrat auch Indizien für eine unvollkommene Konsistenz der im Modellverbund generierten Daten innerhalb der einzelnen Modelle sowie untereinander. Insbesondere gibt es vielfältige Wechselwirkungen zwischen den Sektoren, die vom gewählten Modellansatz nicht oder nur eingeschränkt erfasst werden. Zwar wird für wichtige dieser Wechselwirkungen ein nachträglicher Kontrollabgleich vorgenommen, zum Beispiel bei den (für die Verbrauchssektoren exogenen) Strompreisen. Doch ist diese Kontrolle unvollständig, kaum dokumentiert und erlaubt vor allem keine Automatisierung. Das ist für die Berechnung möglichst vieler Sensitivitäten von Nachteil.

iii) Transparenz: Die einzelnen Sektormodelle sowie der Modellverbund als Ganzes sind in ihren Grundzügen und der modellendogenen Dynamik grundsätzlich nachvollziehbar (siehe Kapitel 3.3.3),

[14] Die modellinterne Simulation startet je nach Sektor bereits 2022 oder 2023. Für die Ausweisung der Projektionsdaten 2024 werden jedoch bis 2023 historische Emissionsdaten des UBA verwendet (RZ 21).

[15] Unter externer Konsistenz werden nicht modellierte Wechselwirkungen mit Variablen außerhalb des Modellverbunds verstanden.

[16] In der sozio-ökonomische Folgenabschätzung, die für den Projektionsbericht 2023 durchgeführt wurde (UBA 2024g) und auch für die Projektionsdaten 2024 angekündigt ist, jedoch noch nicht vorliegt, erfolgt die gesamtwirtschaftliche Modellierung erst im Nachgang zur Erstellung der Projektionsdaten. Die im Rahmen der Modellierung berechneten Investitionsbedarfe und Änderungen der Konsumstruktur gehen dort als Impulse für die gesamtwirtschaftliche Analyse ein. Die gesamtwirtschaftliche Betrachtung baut dabei auf den Änderungen zwischen dem MMS und dem MWMS auf.

[17] Unter interner Konsistenz werden die Modelllogik des Einzelmodells sowie Wechselwirkungen innerhalb des Modellverbunds verstanden.

auch wenn der Detaillierungsgrad je nach Sektor unterschiedlich ist.[18] Allerdings ist keines der Modelle bislang *open source*. Die konkreten Modellannahmen werden nur in Teilen dokumentiert, und nur selten wird eine ausdrückliche Begründung für die Wahl bestimmter Annahmen angeboten. Auch für die Ergebnisdarstellung liefert zwar insbesondere der Datenanhang für Kernindikatoren eine reichhaltige Informationsquelle, aber es ist für Außenstehende kaum möglich, den Zusammenhang der angegebenen Zeitreihen nachzuvollziehen.

46 Zukünftig soll der Expertenrat bei seinen Gutachten und Stellungnahmen auch „zu den ihm vorgelegten von der Bundesregierung getroffenen Feststellungen zu den sozialen Verteilungswirkungen [und] der Wirtschaftlichkeit (…) von Klimaschutzmaßnahmen Stellung nehmen" (§ 12 Absatz 7 KSG). Für diese Aufgabe liefert die aktuelle Modellierung der Projektionsdaten 2024 keine wesentlichen Hinweise, da sie auf die Abschätzung der Emissionsmengen fokussiert ist. Hinweise lassen sich jedoch aus der sozio-ökonomischen Folgenabschätzung zum Projektionsbericht 2023 (UBA 2024g) entnehmen, der vom UBA auch für den Projektionsbericht 2024 angekündigt ist, jedoch derzeit noch nicht vorliegt.

3.3 Prüfung und Einordnung von Annahmen und Ergebnissen sowie des methodischen Vorgehens in den Einzelmodellen

3.3.1 Sektorenübergreifende Rahmendaten und Ergebnisse

47 Die Erstellung der Projektionsdaten über die künftige Emissionsentwicklung hängt von zahlreichen Annahmen zu sektorenübergreifenden und sektorspezifischen Rahmendaten ab. Die zentralen sektorenübergreifenden Rahmendaten und ihre Herleitung werden in UBA (2024j) beschrieben. Das vorliegende Kapitel bezieht sich auf die wesentlichen Annahmen darin. Die Sensitivitätsanalysen, die zu einzelnen Rahmendaten zur Verfügung stehen (siehe Kapitel 3.1.2), verdeutlichen den signifikanten Einfluss einzelner Annahmen auf das Ergebnis der Projektionen. Da die Annahmen zu den Rahmendaten bereits Ende Oktober 2023 finalisiert wurden, konnten Entwicklungen, die danach stattfanden, nicht berücksichtigt werden. In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage, inwiefern die zentralen sektorenübergreifenden Annahmen insbesondere vor dem Hintergrund aktueller Entwicklungen plausibel erscheinen. Im Folgenden wird zu dieser Frage eine Einschätzung gegeben.[19] Hierbei wird unterschieden nach Rahmendaten, für die eine Sensitivitätsanalyse vorliegt, und solchen, für die dies nicht der Fall ist. Mögliche Auswirkungen von Aktualisierungen der Rahmendaten und der Annahmen zu den Maßnahmen, soweit dem Expertenrat bekanntgegeben, werden in Kapitel 3.3.3 eingeordnet.

3.3.1.1 Rahmendaten mit Sensitivitäten

48 Tabelle 1 fasst die Einschätzung zu den Annahmen zu denjenigen sektorenübergreifenden Rahmendaten zusammen, für die auch Sensitivitäten gerechnet wurden.

[18] Da der Projektionsbericht 2024 noch nicht vorliegt, wurde auf die Modellbeschreibungen im Anhang des Projektionsberichts 2023 (Öko-Institut et al. 2023) und die dort zitierte weiterführende Dokumentation sowie auf zusätzliche Erläuterungen seitens des Forschungskonsortiums (RZ 7) zurückgegriffen.

[19] Die gleiche Frage stellt sich für die Aktualität der Annahmen zur Ausgestaltung der Maßnahmen, die ebenfalls bereits Ende Oktober 2023 finalisiert wurden (UBA 2024k). Diese wird in den jeweiligen Sektorkapiteln analysiert (siehe Kapitel 3.3.3).



Tabelle 1: Einordnung der Annahmen zu zentralen sektorenübergreifenden Rahmendaten mit Sensitivitäten

Rahmendaten	Annahme in Projektionsdaten 2024	Einordnung des Verlaufs unter Berücksichtigung aktueller Entwicklungen	Gemäß Einordnung wäre zu erwarten, dass THG-Emissionen [...] liegen als in den Projektionsdaten 2024 für die Sektoren [...]
Bruttoinlands-produkt (BIP)	• Bis 2028: Wachstumsraten der Herbstprojektion 2023 der Bundesregierung (BMWK 2023a) (2024: 1,3 %, 2025: 1,5 %, 2026-2028: 0,6 %) • 2029-2030: Empfohlene Wachstumsraten der Europäischen Kommission (UBA 2024j) (0,7 %)	• In der Tendenz – insbesondere für die nahe Zukunft – zu hoch	⇩ ... niedriger • Industrie • Verkehr • Energiewirtschaft
Bevölkerung	• Basiert auf 15. Bevölkerungs-vorausberechnung des statistischen Bundesamtes (Destatis 2022) im Szenario einer mäßigen Zuwanderung • Skaliert auf Bevölkerungsstand 2022 • Netto-Zuwanderung in Höhe von 250 000 Personen pro Jahr	• Annahmen erscheinen in der Tendenz zu niedrig.	⇧ ... höher • Übergreifend
EU-ETS-Preise	• Basierend auf Expert*innen-Umfrage (Carbon Pulse 2023) • 2024: im Mittel 81,9 $Euro_{2022}/t\ CO_2$; 2030: im Mittel 122,1 $Euro_{2022}/t\ CO_2$	• Grundsätzlich existiert Unsicherheit über die Preisentwicklung bis 2030, die sich in einer großen Spannbreite der Prognosen widerspiegelt. • Im Mittel erscheint der Preispfad in der Tendenz zu hoch.	⇧ ... höher • Energiewirtschaft • Industrie
Brennstoff-preise	• Annahmen basieren auf Preisen und Futures zum Stand Oktober 2023 und dem WEO-AP-Szenario • Erdgas: 2024: 56,3 $Euro_{2022}$/MWh; 2030: 22,8 $Euro_{2022}$/MWh • Steinkohle: 2024: 15,2 $Euro_{2022}$/MWh; 2030: 12,2 $Euro_{2022}$/MWh • Rohöl: 2024: 39,6 $Euro_{2022}$/t; 2030: 28,6 $Euro_{2022}$/MWh	• Erdgas: In der Tendenz zu hoch angenommen. • Steinkohle: In der Tendenz zu hoch angenommen. • Rohöl: In der Tendenz zu niedrig angenommen.	⇳ ... nicht eindeutig höher oder niedriger... • Energiewirtschaft • Industrie • Gebäude • Verkehr

Eigene Darstellung.

49 Für die Annahmen zum Wirtschaftswachstum wird bis zum Jahr 2028 die Herbstprojektion 2023 der Bundesregierung (BMWK 2023a) herangezogen, die für 2024 ein Wachstum von 1,3 % projiziert hat (siehe Abbildung A 3 und Abbildung A 4 im Anhang). In der Frühjahrsprojektion 2024 geht die Bundesregierung BMWK (2024) demgegenüber von einer verzögerten wirtschaftlichen Erholung aus und hat ihre Projektion für das Wirtschaftswachstum 2024 nach unten gestuft. Zu einer vergleichbaren

Einschätzung kommen auch Bundesbank (2023), Projektgruppe Gemeinschaftsdiagnose (2024) und SVR Wirtschaft (2024) (siehe Abbildung A 4 im Anhang). Als Gründe werden vor allem die schwache Nachfrage in der Industrie, ein zurückhaltender privater Konsum und höhere Finanzierungskosten für Investitionen genannt. Daher erscheint das Bruttoinlandsprodukt, das in den Projektionsdaten 2024 angenommen wird, vor allem für die nahe Zukunft nicht mehr dem Erwartungswert zu entsprechen. Das Bruttoinlandsprodukt wirkt sich im Modell auf die THG-Emissionen in den Sektoren Industrie, Verkehr und - über die Stromnachfrage dieser Sektoren - auf den Sektor Energiewirtschaft aus. Die Sensitivitätsanalysen zeigen, dass ein niedrigeres Bruttoinlandsprodukt insgesamt niedrigere THG-Emissionen als projiziert erwarten lässt (siehe Kapitel 3.1.2).[20]

50 Die Annahme für den Entwicklungspfad der Bevölkerungsentwicklung für die Jahre 2024 bis 2050 basiert auf der 15. koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung des statistischen Bundesamtes (Destatis 2022) und wurde auf den Bevölkerungsstand Ende 2022 skaliert. In der Bevölkerungsvorausberechnung werden drei Szenarien mit unterschiedlich hoher Zuwanderung erstellt. Für die Projektionsdaten 2024 wird von dem Szenario mit einer mäßigen Zuwanderung in Höhe von 250 000 Personen netto pro Jahr ausgegangen. Für das Jahr 2023 wird die Netto-Zuwanderung auf 680 000 bis 710 000 Personen geschätzt und liegt damit deutlich höher (Destatis 2024c). Auch in der Vergangenheit kam es zu deutlich höheren Werten, wie beispielsweise im Jahr 2022 in Folge des Krieges in der Ukraine. Die Annahmen zur Zuwanderung erscheinen vor diesem Hintergrund eher gering, was in der Tendenz zu einer in den Projektionsdaten 2024 zu niedrig angenommen Bevölkerungszahl führt.[21] In den Sensitivitätsanalysen werden die THG-Emissionen für die anderen beiden Szenarien, d.h. niedrige Zuwanderung und hohe Zuwanderung, abgeschätzt.[22] Bis zum Jahr 2030 würden basierend darauf laut der Sensitivitätsanalyse 19 Mt CO_2-Äq weniger bzw. 27,4 Mt CO_2-Äq. mehr THG-Emissionen projiziert (siehe Kapitel 3.1.2).[23]

51 Für die Jahre bis 2030 basiert die Annahme zum EU-ETS-Preis auf dem Mittelwert einer Umfrage von Carbon Pulse von Herbst 2023 (Carbon Pulse 2023). Diese ging für das Jahr 2024 von einem Preis von im Mittel 81,9 $Euro_{2022}$/t CO_2 aus, der bis 2030 auf im Mittel 122,1 $Euro_{2022}$/t CO_2 steigt. Aktuell liegt der mittlere Preis für das Jahr 2024 bei 58 $Euro_{2022}$/t CO_2[24] und damit deutlich unter dieser Annahme. Auch die Preise für Futures für 2024 sind deutlich gesunken und deuten daher auf niedrigere Preise für das Jahr 2024 hin.[25] In der aktuellen Umfrage von Carbon Pulse von Frühjahr 2024 (Carbon Pulse 2024) wurde die Erwartung für die Preisentwicklung mit Verweis auf die geringe Nachfrage der Industrie, gesunkenen THG-Emissionen in der Energiewirtschaft und einem höheren Volumen an Zertifikaten als Folge des REPowerEU nach unten korrigiert. Bis 2030 wird in der Umfrage von Carbon Pulse zwar weiterhin von steigenden Preisen ausgegangen, allerdings geringer als in den Projektionsdaten 2024

[20] In der Sensitivitätsanalyse wird von einer schnelleren Erholung der Wirtschaftsleistung ausgegangen, als es aktuelle Prognosen nahelegen (siehe Abbildung A 3 im Anhang).

[21] Neben der Zuwanderung beeinflussen auch andere Faktoren, wie Geburten- und Sterberate die Bevölkerungsentwicklung. Diese Faktoren sind ebenfalls mit Unsicherheit behaftet.

[22] Im Szenario mit einer niedrigen Zuwanderung liegt die Netto-Zuwanderung bei 150 000 Personen pro Jahr. Im Szenario mit hoher Zuwanderung liegt die Netto-Zuwanderung bei 350 000 Personen pro Jahr.

[23] Die Sensitivitätsanalyse deckt nur eine Spannbreite der Netto-Zuwanderung von 150 000 bis 350 000 Personen ab. Im Jahr 2022 lag die Zuwanderung beispielsweise bei 1,5 Mio. (Destatis 2023), ein solcher sprunghafter Anstieg der Zuwanderung wird durch die Sensitivitätsanalysen nicht abgedeckt.

[24] Stand 17.5.2024.

[25] Allerdings muss beachtet werden muss, dass der Future Markt für Emissionszertifikate wenig liquide ist und daher nicht unbedingt die Erwartung der Marktteilnehmer widerspiegelt.



angenommen (siehe auch Abbildung A 2 im Anhang).[26] Diese Einschätzung ist vergleichbar mit anderen Analysen (siehe Schieldrop und Hvalbye (2024); BNEF (2024)). Insgesamt erscheint daher der Pfad, der in den Projektionsdaten 2024 angenommen wird, in der Tendenz zu hoch. Allerdings ist die Spannbreite der für 2030 erwarteten Preise sehr hoch.[27] Der EU-ETS-Preis wirkt sich auf die THG-Emissionen in den Sektoren Energiewirtschaft und Industrie aus. Die Sensitivitätsanalysen zeigen, dass ein niedrigerer EU-ETS-Preis zu deutlich höheren THG-Emissionen führen würde als projiziert (Kapitel 3.1.2).

52 Die angenommenen Preispfade für die Brennstoffe Erdöl, Erdgas und Steinkohle orientieren sich bis 2030 an den Preisentwicklungen für Futures mit Stand Oktober 2023, und ab dem Jahr 2030 an dem „Announced Pledges“ (AP) Szenario des World Energy Outlooks (WEO) (IEA 2023).[28] Die Preise für Erdgas haben sich allerdings schneller erholt als in den Projektionsdaten 2024 angenommen. Der aktuelle Erdgas Preis (TTF) liegt deutlich unter dem Preis der Projektionsdaten 2024. Dies schreibt sich auch in den aktuellen Erdgas Futures bis 2027 fort (siehe auch Abbildung A 5 im Anhang). Auch aktuelle Steinkohlepreise liegen unterhalb der angenommenen Preise. Aktuelle Rohöl-Preise und Futures hingegen liegen für 2024 und 2025 über den angenommenen Preisen. Die Sensitivitätsanalyse zeigt, dass sich die Brennstoffpreise vor allem auf die THG-Emissionen in der Energiewirtschaft auswirken. Entscheidend für die Höhe der THG-Emissionen ist nicht nur der Verlauf der einzelnen Preise, sondern auch das Verhältnis zwischen den Preisen in Kombination mit dem EU-ETS-Preis, insbesondere in der Energiewirtschaft (siehe Kapitel 3.3.3.6 für eine Einschätzung zum Einfluss des Gas-Kohle-Spreads in der Energiewirtschaft).

3.3.1.2 Rahmendaten ohne Sensitivitäten

53 Eine Einschätzung der Annahmen zu denjenigen sektorenübergreifenden Rahmendaten, für die keine Sensitivitäten gerechnet wurden, ist in Tabelle 2 zusammengefasst.

[26] Die Spannbreite in der Umfrage reicht für das Jahr 2030 von 73 $Euro_{2022}$/t CO_2 bis 152 $Euro_{2022}$/t CO_2.

[27] Unterstellt man einen Preispfad gemäß der Hotelling-Regel, würden Preise erwartet, die mit dem Marktzinssatz steigen und somit einen exponentiellen Verlauf nehmen. Dies setzt allerdings voraus, dass es einen vollkommenen Markt ohne Markteingriffe gibt, und dass Marktteilnehmer rational handeln siehe auch Bocklet und Hintermayer (2020).

[28] Ab 2030 haben die Autoren ihre Annahmen auf dem WEO-AP-Szenario basiert, die Preisannahmen weichen jedoch von den WEO-AP-Szenarien ab. Das Vorgehen, wie die WEO-Daten angepasst wurden, ist nicht transparent dokumentiert und nicht nachvollziehbar. Das WEO AP Szenario weist für das Jahr 2030 einen Preis von 25 Euro/MWh für Erdgas aus. Dieser Wert wird in den Projektionsdaten um 10 % unterschritten. Auch die Annahme des Steinkohlepreises im Jahr 2030 weicht vom Ergebnis des WEO AP Szenarios ab, jedoch nach oben und liegt 11 % höher. Für Rohöl scheint ein anderes Szenario als Grundlage gedient zu haben, denn der Preis des WEO-AP-Szenario für das Jahr 2030 von 51,5 Euro/MWh liegt sehr deutlich über dem angenommenen Preispfad der Projektionsdaten 2024 für das Jahr 2030 in Höhe von 28,6 Euro/MWh. Insgesamt scheint damit kein einheitliches Szenario für die Annahme der Brennstoffpreise gefunden worden zu sein.

Tabelle 2: Einordnung der Annahmen zu zentralen sektorenübergreifenden Rahmendaten ohne Sensitivitäten

Rahmendaten	Annahme in Projektionsdaten 2024	Einordnung des Verlaufs	Gemäß Einordnung wäre zu erwarten, dass THG-Emissionen [...] liegen als in den Projektionsdaten 2024 für die Sektoren [...]
BEHG-Preise	• 2024: 40 Euro/t CO_2 • 2025: 50 Euro/t CO_2 • 2026: 65 Euro/t CO_2 • 2027-2030: Anstieg um 15 Euro/t CO_2 pro Jahr (2030: 125 Euro/t CO_2)	• Für die Jahre 2024 und 2025 Preis um jeweils 5 Euro/t CO_2 angehoben • Ab 2027 ist der Preispfad mit einer hohen Unsicherheit behaftet.	⇕ ... nicht eindeutig höher oder niedriger • Gebäude • Verkehr • Industrie • Energiewirtschaft
Strompreise	• Bis 2030 basierend auf Futures und Berechnungen des Energiesystemmodels PowerFlex • Großhandelsstrompreis 2024: 131,38 $Euro_{2022}$/MWh; 2030: 73,36 $Euro_{2022}$/MWh	• Die angenommenen Endverbraucher-Strompreise erscheinen tendenziell zu niedrig.	⇕ ... nicht eindeutig höher oder niedriger • Industrie • Verkehr • Gebäude

Eigene Darstellung.

54 Die Annahmen zum BEHG-Preis orientieren sich bis 2026 an dem mit Stand Oktober 2023 vorgegebenen Preispfad.[29] Ab 2027 wurde ein Anstieg von jährlich 15 Euro/t CO_2 auf 125 Euro/t CO_2 im Jahr 2030 angenommen. Mit Wirkung zum 1.1.2024 wurde der BEHG-Preis für die Jahre 2024 und 2025 um jeweils 5 Euro/t CO_2 angehoben (BReg 2024). Somit liegt der BEHG-Preis für diese beiden Jahre über den in den Projektionsdaten 2024 angenommenen Preisen. Die Entwicklung des Preispfades ab 2027 ist sehr unsicher. Zum einen wird der Preis ab 2027 am Markt über eine Mengenbegrenzung („Cap") gebildet und hängt somit von der Nachfrage nach Zertifikaten ab. Zum anderen ist die Ausgestaltung des Übergangs zum EU-ETS 2 noch unklar.[30] Im EU-ETS 2 könnte der Preis sowohl deutlich höher als auch niedriger liegen. In Pahle (2024) wird eine Preisspanne von 60-380 Euro/t CO_2 für das Jahr 2030 genannt. Allerdings wird darauf hingewiesen, dass die „weiche"[31] Preisobergrenze von 45 Euro2020/t dazu führen kann, dass höhere Preise politisch nicht durchsetzbar sind. Ob ein BEHG-Preis im Jahr 2030 von 125 Euro/t CO_2 erwartet werden kann, hängt somit zum einen von der politischen Durchsetzbarkeit,

[29] Zum Stand Oktober 2023 lag dieser bei 40 Euro/t CO_2 für 2024 und 50 Euro/t CO_2 für 2025. Für das Jahr 2026 ist eine Preisspanne von 55 Euro/t CO_2 bis 65 Euro/t CO_2 vorgegeben, hier wurde für die Rahmendaten die obere Grenze gewählt.

[30] Verschiedene Optionen für den Übergang vom BEHG zum EU-ETS 2 werden beispielsweise in Graichen und Ludig (2024) und in Pahle (2024) diskutiert. Graichen und Ludig (2024) sehen es nach Stand der politischen Diskussion im Herbst 2023 als am wahrscheinlichsten an, dass das BEHG durch den EU-ETS 2 ersetzt wird und die durch den EU-ETS 2 nicht abgedeckten THG-Emissionen unilateral eingebracht werden.

[31] In den ETS-Richtlinien sind Maßnahmen festgelegt, die bei einem Preis über 45 Euro/t CO_2 oder starken Preisanstiegen ergriffen werden können (Europäisches Parlament und Europäischer Rat 2023). Diese Maßnahmen verhindern bei einer hohen Nachfrage aber nicht notwendigerweise hohe Preise und sind daher keine „harte" Preisobergrenze (Pahle 2024).



dem konsequenten Festhalten an den Mengenbegrenzungen und der Nachfrage nach Zertifikaten ab. Zum anderen ist entscheidend, ob das BEHG nach Einführung des EU-ETS 2 fortgeführt wird oder ab 2027 durch den EU-ETS 2 ersetzt wird. Graichen und Ludig (2024) zeigen, dass das Ambitionsniveau im EU-ETS 2 unter dem des BEHG liegen könnte. Da das BEHG THG-Emissionen umfasst, die unter die ESR fallen und für die bereits eine Zielverfehlung projiziert wird (siehe RZ 30), könnte die Einführung des EU-ETS 2 mit paralleler Abschaffung des BEHG hier zu einer noch größeren Lücke führen.

55 Für die Modellierungen in den Verbrauchssektoren werden Annahmen für die Endverbrauchs-Strompreise getroffen. Diese basieren auf Großhandelsstrompreisen und auf Annahmen zu Steuern, Abgaben und Umlagen. Als Basis für Großhandelsstrompreise bis 2030 wurden Futures und (von der eigentlichen Berechnung der Projektionsdaten 2024 unabhängige) Berechnungen des Energiesystemmodells PowerFlex verwendet.[32] Es wurde angenommen, dass der Großhandelsstrompreis von 131,38 $Euro_{2022}$/MWh im Jahr 2024 auf 73,36 $Euro_{2022}$/MWh im Jahr 2030 fällt. Für die Modellierung in den Verbrauchssektoren wurden diese Preise in Haushalts- bzw. Industriepreise umgerechnet. Für die Netzentgelte wurde basierend auf Sensfuß et al. (2022) die Annahme abgeleitet, dass diese bis 2030 um 21 % und bis 2040 um 36 % gegenüber dem Jahr 2022 steigen. Im Hinblick auf den Netzausbaubedarf und die Umwälzung der Kosten auf die Verbrauchenden scheint die Annahme des Anstiegs der Netzentgelte tendenziell unterschätzt. Laut Probst et al. (2024) könnten sich die Netzentgelte der Haushaltskunden bis zum Jahr 2045 im Vergleich zum Jahr 2024 mehr als verdoppeln. Die angenommene Reduktion ist dabei stärker für Industriekunden als für Haushaltskunden. Eine weitere Erhöhung der Endverbrauchspreise könnte sich durch eine mögliche Wiedereinführung der EEG-Umlage aus Gründen der Entlastung des Staatshaushalts ergeben. Ferner besteht naturgemäß eine Unsicherheit zur zukünftigen Steuergestaltung. Höhere Strompreise können auf der einen Seite zu einer geringeren Elektrifizierung und dadurch tendenziell höheren THG-Emissionen, auf der anderen Seite zu Einsparungen im Stromverbrauch und damit tendenziell geringeren THG-Emissionen führen.

3.3.1.3 Konsistenz der Rahmendaten

56 Die sektorenübergreifenden Rahmendaten werden in der Modellierung exogen vorgegeben. Die Konsistenz der Rahmendaten über die Zeit und untereinander ist Voraussetzung für die Realisierbarkeit der projizierten Emissionspfade. Die Konsistenz ist aus folgenden Gründen nur teilweise nachvollziehbar:

- Das angenommene Wirtschaftswachstum wird zur Herleitung der Annahmen zur Entwicklung der Industrie[33], der Güterverkehrsleistung im Verkehrssektor und der Beschäftigtenzahlen in Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) herangezogen. In den Sektor Energiewirtschaft geht das Bruttoinlandsprodukt (BIP) indirekt über die Stromnachfrage ein. Für die Produktionsmengen der

[32] Für die Jahre 2035, 2040, 2045 und 2050 werden die Modellierungsläufe mit dem Strommarktmodel PowerFlex durchgeführt basierend auf den Annahmen des MWMS des Projektionsberichts 2023 (siehe Kapitel 3.3.3.6 für Modellbeschreibung). Zwischen diesen Jahren wurden die Preise interpoliert. Vor dem Jahr 2035 ist nicht eindeutig nachvollziehbar, wie sich die Annahmen zusammensetzen. Die Strompreise des finalen Laufs wurden nicht noch einmal mit den Verbrauchssektoren iteriert, lagen jedoch nah bei den initial modellierten Preisen (schriftliche Antwort des Öko-Instituts im Rahmen der Prüfung).

[33] Dafür wird das BIP in die Bruttowertschöpfung übertragen unter der Annahme, dass der Industrieanteil am BIP konstant bleibt. Die Bruttowertschöpfung wird zum einen für die Entwicklung der Produktionsmengen der energieintensiven Industrien genutzt. Zum anderen wird die Bruttowertschöpfung als Aktivitätsgröße für die Entwicklung der nicht-energieintensiven Industrien verwendet (RZ 7).

energieintensiven Industrie wird das Vorgehen allerdings erst ab dem Jahr 2028 verwendet, davor wird die Entwicklung der Produktionsmengen entkoppelt vom BIP festgelegt (schriftliche Antwort des Forschungskonsortiums im Rahmen der Prüfung). Da es kein gesamtwirtschaftliches Projektionsmodell gibt, werden Rückkopplungen auf das BIP nicht berücksichtigt und auch der einzelwirtschaftliche Investitionsbedarf und die daraus resultierenden gesamtwirtschaftlichen Effekte lassen sich nicht ableiten (siehe auch ERK (2023c); Prognos und ifeu (2024)).

- Für den Entwicklungspfad des Wirtschaftswachstums werden unterschiedliche Quellen für verschiedene Zeitabschnitte herangezogen, die auf unterschiedlichen Methoden basieren. Eine Konsistenz über die Zeit erscheint daher nicht sichergestellt (siehe auch Prognos und ifeu 2024).
- Bei den Brennstoffpreisen und mit Blick auf 2030 scheint kein einheitliches Szenario des WEO (IEA 2023) zugrunde zu liegen. Damit ist die Konsistenz der Annahmen nicht sichergestellt, insbesondere da die Erdgaspreise des WEO-AP-Szenario nach unten und die Kohlepreise nach oben angepasst wurden.
- Die Annahmen zur Entwicklung der EU-ETS-Preise und zur Entwicklung der Brennstoffpreise basieren bis 2030 auf unterschiedlichen Quellen. Daher ist eine Konsistenz zwischen beidem nicht zwangsläufig gegeben.
- Der Einfluss der Nachfrage nach CO_2-Zertifikaten auf EU-ETS-Preise und BEHG-Preise wird nicht modelliert.

3.3.2 Zugrunde gelegte Rahmenbedingungen, implizite Annahmen und Umsetzungsvoraussetzungen

57 Die Projektionsdaten 2024 und der daraus resultierende THG-Minderungspfad sind ein Modellergebnis, welches sich durch die Annahmen zu bestimmten Rahmendaten, Modelllogiken und impliziten Annahmen ergibt. Konkret benennen die dem Expertenrat übermittelten Dokumente zu den Projektionsdaten 2024 (siehe dazu UBA 2024i) als Umsetzungsvoraussetzung für die Realisierung des THG-Minderungspfades i) eine konsequente Umsetzung und Weiterentwicklung der Klimapolitik, ii) die konsequente Fortsetzung begonnener Politiken bzw. Erreichung gesetzter Ziele und iii) die Fortführung der ambitionierten Umsetzung der Ausbauziele für erneuerbare Energieträger sowie die langfristige Erreichung der Ausbauziele gemäß Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG).

58 Im Folgenden werden weitere implizite Annahmen aufgeführt (bzw. zuvor genannte Aspekte konkretisiert), die hinsichtlich der Realisierung des THG-Minderungspfades der Projektionsdaten 2024 aus Sicht des Expertenrats als weitere Umsetzungsvoraussetzungen erfüllt sein müssten. Hierzu zählen insbesondere die Stabilität der gesellschaftlichen und politischen Entwicklung, die Sicherstellung der Finanzierung staatlicher klimapolitischer Maßnahmen, die ausreichende Verfügbarkeit von Fachkräften, der zielorientierte Aus- bzw. Umbau von Infrastruktur (Ladeinfrastruktur, Strom- Fernwärme- und Gasnetze), sowie die Berücksichtigung von Knappheiten und Nutzungskonflikten bei Flächen, Biomasse, Wasserstoff und synthetischen Energieträgern sowie sonstiger für den Aufbau eines neuen, klimaschonenden Kapitalstocks notwendiger Ressourcen.

59 Zahlreiche klimapolitische Entwicklungen resultieren aus Entscheidungen auf internationaler Ebene. Dazu können geopolitische Entwicklungen ebenso gehören wie eine Neujustierung der europäischen Klimapolitik. So könnte eine mögliche Kräfteverschiebung bei der Anfang Juni 2024 anstehenden Wahl zum EU-Parlament zu einem Abschwächen oder sogar einem Stillstand oder Rückschritt bei den



klimapolitischen Bemühungen im Rahmen des Green Deals führen. Ebenso könnte eine Verschärfung der geopolitischen Konflikte zu einer Verschiebung politischer Prioritäten im Vergleich zu den Annahmen der Projektionsdaten 2024 führen. Aus Sicht des Expertenrates ist es nicht möglich und auch nicht angemessen, derartige mögliche politische Veränderungen in der Modellierung zu berücksichtigen, sondern es ist für diesen Zweck von einer Fortsetzung aktuell bestehender politischer Rahmenbedingungen auszugehen. Dennoch könnte die Realisierung der in den Projektionsdaten 2024 angenommenen THG-Emissionsminderungen durch derartige Entwicklungen geschwächt werden, z. B., wenn europäische Rahmengesetzgebungen (Direktiven) entsprechend abgeschwächt würden.

60 Die soziale und gesellschaftliche Dimension und eine möglicherweise in Zukunft geringere Akzeptanz von klimapolitischen Maßnahmen wird in den Projektionsdaten 2024 nicht ausreichend berücksichtigt. So wird beispielsweise im Straßengüterverkehr angenommen, dass Akzeptanz in der Öffentlichkeit und bei Käufer*innen keine Restriktion darstellt (Göckeler et al. 2023). Mit voranschreitender Transformation kommen jedoch die dadurch bewirkten Veränderungen in den Bereichen Wohnen, Mobilität oder Ernährung immer stärker bei den privaten Haushalten an. Auch die Annahme unbeschränkter Investitionsmöglichkeiten auf Seiten privater Haushalte, aber auch von Unternehmen und Kommunen, wird als unrealistisch erachtet. Die Berücksichtigung der sozialen und gesellschaftlichen Dimension der aktuellen Klimapolitik wird daher immer wichtiger und ist essenziell für das Gelingen der Transformation. Die sozio-ökonomische Folgenabschätzung zum Projektionsbericht 2023 (UBA 2024g) ist dabei ein erster Schritt, reicht aber noch nicht aus, da sie erst im Nachgang zur Modellierung der Projektionsdaten erfolgt. Auch die nicht ausreichende Berücksichtigung der Akzeptanz von klimapolitischen Maßnahmen kann die tatsächliche Realisierung der angenommenen Entwicklung der THG-Emissionen einschränken und damit zu höherer Unsicherheit in der Projektion führen. Das gilt insbesondere für die Sektoren Gebäude, Verkehr und Landwirtschaft.

61 Ein Großteil der Instrumente, die für die Realisierung des projizierten THG-Pfades angenommen oder in Zukunft umgesetzt werden sollen, sind fiskalischer Natur, wie bereits in ERK (2023c) gezeigt wurde. Dies bedingt einerseits einen hohen Bedarf an Finanzmitteln im Bundeshaushalt. Andererseits wird auf Freiwilligkeit bei der Umsetzung von Förderrichtlinien u. a. gesetzt, die eine hohe Akzeptanz der jeweiligen Maßnahmen voraussetzt. Die Kürzungen im Klima- und Transformationsfonds (KTF), die als Folge des Urteils des Bundeserfassungsgerichts zum zweiten Nachtragshaushalt 2021 im Herbst 2023 beschlossen wurden, wurden nicht in der Erstellung der Projektionsdaten 2024 berücksichtigt. Die Kürzungen im KTF führten zu Programmkürzungen im Jahr 2024 sowie einem fast vollständigen Abschmelzen der Rücklage als Finanzierungrundlage für die kommenden Jahre (siehe ERK 2024a). Dadurch wurde der Spielraum für die Finanzierung der Transformation kleiner. In Summe stellt der ERK (2024a) in seinem Prüfbericht 2024 fest, dass das Erreichen der projizierten Minderungswirkung des Klimaschutzprogramms 2023 durch die Folgen des Urteils unsicherer geworden ist und geringer ausfallen dürfte. Da viele der Maßnahmen auch Teil der modellierten Maßnahmen für die Projektionsdaten 2024 sind, werden auch diese unsicherer und tendenziell kommt es zu einer Überschätzung der unterstellten Minderungswirkung.

62 Darüber hinaus wird in den Projektionsdaten für 2024 davon ausgegangen, dass ausreichend Fachkräfte und Kapital zur Umsetzung der Energiewende zur Verfügung stehen. Dadurch sind die Modellergebnisse mit einer zusätzlichen Unsicherheit hinsichtlich des Aus- und Umbaus sowie der Instandhaltung von Infrastruktur und technischen Anlagen verbunden. Der Expertenrat für Klimafragen hält angesichts des partialen Modellansatzes die Setzung impliziter Annahmen für erforderlich. Die

implizite Annahme „unbeschränkt" ist in jedem Fall und für beide Faktoren Arbeit[34] und Kapital optimistisch.

63 Die Annahmen zur Entwicklung der Infrastruktur umfassen neben den Strom-, Gas- und Wasserstoffnetzen auch den Ausbau von Ladeinfrastruktur sowie der Fern- und Nahwärmenetze. In der Modellierung des Sektors Energiewirtschaft werden keine Transportengpässe für Strom, Gas und Wasserstoff berücksichtigt (siehe Kapitel RZ 116). Ebenso wenig werden Redispatchmengen abgebildet (siehe RZ 120v).[35] In der Modellierung des Verkehrssektors wird ein bedarfsgerechter Ausbau der Ladeinfrastruktur angenommen. Somit stellen auch hier Infrastrukturannahmen keine Restriktion im Modell dar.[36] In der Modellierung des Gebäudesektors stellt der Ausbau der Wärmenetze eine mögliche Restriktion dar.[37] Der Ausbau der Infrastruktur ist mit erheblichen Unsicherheiten und in der Modellierung nicht berücksichtigten sektorenübergreifenden Barrieren behaftet. Es wird unterstellt, dass die benötigte Infrastruktur zum richtigen Zeitpunkt am richtigen Ort vorhanden ist. Diese Annahme ist als optimistisch einzuschätzen und führt zu einer Überschätzung der unterstellten THG-Minderungswirkung.

64 Die Verfügbarkeit und die Nutzung von Flächen sind maßgebliche Voraussetzungen für die Umsetzung vieler Klimaschutzmaßnahmen. Ihre Verfügbarkeit wird für die Modellierung bzw. Abbildung von Maßnahmen in den Projektionsdaten 2024 implizit angenommen. Dies ist wegen der Ausgestaltung von Maßnahmen im Sektor LULUCF sowie anderer Sektoren nicht uneingeschränkt gegeben. Für das MMS der Projektionsdaten 2024 wird angenommen, dass Flächennutzungsänderungen (z. B. Acker zu Siedlungsfläche) mit konstanten Wahrscheinlichkeiten bis 2050 geschehen, und dass die Neuinanspruchnahme von Flächen im Jahr 2030 auf 40 ha pro Tag und im Jahr 2050 auf null begrenzt wird. Die Entwicklung bis 2030 basiert auf Expert*inneneinschätzungen, die danach folgt einer politischen Zielsetzung. Hier ist es möglich, dass konkurrierende Politiken, u.a. zum Ausbau des Wohnraums und für Maßnahmen der Energiewende (Freiflächen-PV, Ausgleichsflächen, Trassen, etc.), einen höheren Flächenbedarf als angenommen mit sich bringen (Osterburg et al. 2023). Die Begrenzung der Flächenneuinanspruchnahme ist also nicht gesichert. Zum anderen ist dabei unklar, ob genügend Fläche für die Umsetzung aller Maßnahmen verfügbar ist. Dies umfasst selbstverständlich auch jene, die nicht nur für den Klimaschutz relevant sind. Hierdurch ergeben sich in der Realität Nutzungskonkurrenzen, die bei der Modellierung außenvorgelassen werden. Ungeachtet der möglichen Konflikte gehen Landnutzungsänderungen in der Regel auf die Kosten der Agrarfläche, wobei ein Teil des im Boden gespeicherten Kohlenstoffs emittiert wird. Außerdem gilt zu bedenken, dass der Druck auf Flächen durch Nutzungskonkurrenzen, beispielsweise für den Anbau von Energiepflanzen, nicht nur

[34] In der Energiewirtschaft wurde bereits in den vergangenen Jahren ein Fachkräftemangel in der Solar- und Windbranche deutlich, welcher auch die in den Projektionsdaten 2024 ausgewiesenen Zubauraten limitieren könnte. Auch im Gebäudesektor sind die unzureichende Anzahl an Fachkräften sowie derzeit existierende Lücken in den Berufsausbildungen zur Realisierung der energetischen Sanierungen und Modernisierungen von Heiztechnik zentrale und bekannte Hemmnisse bei der Dekarbonisierung. In den Sektoren Landwirtschaft sowie LULUCF besteht insbesondere durch komplexe Umsetzungsprozesse im Bereich der Moorwiedervernässung ein Fachkräftemangel vor allem, aber nicht nur, in Behörden (Hirschelmann et al. 2023). Es ist davon auszugehen, dass fehlende Fachkräfte zur Umsetzung der jeweiligen Transformationsmaßnahmen in den Sektoren die Energiewende verzögern könnten. Die Emissionsminderung könnte somit geringer ausfallen als in den Projektionsdaten 2024 ermittelt.

[35] Laut Prognos und ifeu (2024) sind auch Verzögerungen bei der Netzanbindung von Offshore-Parks wahrscheinlich.

[36] Vor dem Hintergrund gekürzter Förderungen in die Ladeinfrastruktur und verzögerter Ausschreibeverfahren für die Lkw-Ladeinfrastruktur, kommt es hier zu möglichen Verzögerungen, die nicht vom Modell erfasst werden.

[37] Perspektivisch muss im Zuge der projizierten Diffusion von Wärmepumpen zusätzlich das Vorhandensein ausreichender elektrischer Netzinfrastruktur sichergestellt werden.



im Inland wirkt: sie können auch zu Landnutzungsänderungen im Ausland führen, deren THG-Emissionen rechnerisch nicht in Deutschland verbucht würden.

65 Gemäß den Projektionsdaten 2024 verbleibt der Primärenergieverbrauch von Biomasse bis 2030 relativ konstant bei rund 330 TWh (schriftliche Antwort des Forschungskonsortiums im Rahmen der Prüfung). Dieses Modellergebnis ist nicht durch Potenziale bzw. dahinterstehende Maßnahmen gedeckelt, sondern richtet sich allein nach den angenommenen Biomassepreisen, welche mit Unsicherheiten behaftet sind. Jedoch steht Biomasse in Deutschland nicht unbegrenzt und nachhaltig zur Verfügung. So beträgt das gesamte inländische Biomassepotenzial für 2030 laut Projektionsbericht 2023 lediglich 240 TWh. Auch bei höheren angenommenen Potenzialen, wie in Prognos et al. (2020) mit einem inländischen Potenzial von 320 TWh im Jahr 2030, würden sich Biomasseimportbedarfe ergeben, die mit Unsicherheiten verbunden sind. Außerdem gibt es mögliche Nutzungskonflikte zur stofflichen Nutzung von Biomasse, die bei der Modellierung bisher nicht ausreichend berücksichtigt werden. Die sektoralen Aspekte der Modellierung des Biomasseeinsatzes werden in den jeweiligen Sektorenkapiteln diskutiert (siehe Kapitel 3.3.3).

66 Die Annahmen zur Entwicklung der Wasserstoff-Großhandelspreise basieren auf einer Bottom-up Studie, die vom Nationalen Wasserstoffrat in Auftrag gegeben wurde (Thomsen et al. 2022). Als Preispfad wird der Mittelwert der beiden Pfade „Günstig“ und „Hoch“ verwendet. Bis zum Jahr 2030 wird ein starker Preisrückgang angenommen von 202,50 Euro/MWh im Jahr 2024 auf 136 Euro/MWh im Jahr 2030. Es gibt eine erhebliche Bandbreite an Schätzungen des Großhandelspreises für Wasserstoff, die aus einem bisher fehlenden liquiden Markt resultieren.[38] Ein wie in den Projektionsdaten 2024 modellierter Preisabfall erscheint aus heutiger Perspektive durch Faktoren wie Skaleneffekte oder Marktwettbewerb denkbar. Trotzdem bestehen Unsicherheiten, da der Markthochlauf von Wasserstoff erhebliche Investitionen in Produktionskapazitäten sowie Transport- und Verteilnetzinfrastrukturen erfordert.

In den Projektionsdaten 2024 wird angenommen, dass bis einschließlich des Jahres 2030 die inländische Wasserstoffproduktion die Nachfrage nach Elektrolysewasserstoff deckt. Für die Nachfragesektoren wird exogen festgelegt, wieviel Prozent sie importieren und wieviel sie aus den deutschen Elektrolyseuren beziehen. Allerdings werden Wasserstoffimporte erst nach dem Jahr 2030 angenommen. Die Annahmen zur inländischen Wasserstoffproduktion basieren auf dem in der Nationalen Wasserstoffstrategie angestrebten Ausbaupfad, der für das Jahr 2030 eine Elektrolysekapazität von 10 Gigawatt (GW) vorsieht (BMWK 2023b). Bei einer angenommenen Auslastung von 4 000 Volllaststunden werden 23,7 TWh an produziertem Wasserstoff ausgewiesen. Diese Mengen erscheinen nach aktuellem Stand theoretisch möglich. So liegt die kumulierte Leistung der bisher öffentlich angekündigten Projekte für das Jahr 2030 bei 13 GW, von denen sich 12,5 GW in der Planungsphase befinden (acatech und DECHEMA 2024). Dennoch ist der in den Projektionsdaten 2024 angenommene Hochlauf als ambitioniert anzusehen.

67 Die Nachfrage nach synthetischen Kraftstoffen (PtL-Kraftstoffe) im Verkehrssektor würde laut Projektionsdaten 2024 von knapp 0 TWh im Jahr 2024 auf 6,7 bis 9,7 TWh[39] im Jahr 2030 steigen. Zugleich wird eine Importmenge synthetischer strombasierter Flüssigkraftstoffe von 27,8 TWh sowie eine inländische Produktion von 2,2 TWh im Jahr 2030 ausgewiesen (in Summe 30 TWh). Da Unklarheit

[38] Merten und Scholz (2023) gibt eine Spannweite von 45 EUR/MWh bis 205 Euro/MWh für das Jahr 2030 an.

[39] Die Unterschiede sind auf verschiedene Zahlenwerte in den Kernindikatoren sowie einer nachfolgenden Datenlieferung durch das Umweltbundesamt zurückzuführen. Eine Klärung, worauf der Unterschied zurückzuführen ist, konnte im Rahmen des Prüfzeitraums nicht mehr herbeigeführt werden.

bezüglich der genutzten Menge synthetischer Flüssigkraftstoffe in den Projektionsdaten 2024 besteht[40], kann keine abschließende Einordnung durchgeführt werden. Dennoch ist darauf hinzuweisen, dass der Import synthetischer Flüssigkraftstoffe von derzeit 0 TWh auf 27,8 TWh im Jahr 2030 mit großen Unsicherheiten verbunden ist und auch die heimische Produktion von der installierten Elektrolyseleistung abhängt, die in RZ 66 eingeordnet wird. Diese Unsicherheiten werden noch dadurch verstärkt, dass eine Vielzahl der geplanten Anlagen bisher keine Investitionsplanung aufweisen, so dass deren Realisierung höchst ungewiss ist (CENA Hessen 2023).

3.3.3 Sektorspezifische Annahmen, Methoden und Ergebnisse

68 In den folgenden Kapiteln werden die jeweils angewandten Methoden sowie die Annahmen für die Projektion der einzelnen KSG-Sektoren mit Ausnahme des LULUCF-Sektors beschrieben und bewertet. Hierzu wird zunächst die Entwicklung der THG-Emissionen gemäß der historischen THG-Emissionen (2021-2023) sowie der projizierten Entwicklung bis zum Jahr 2030 dargestellt. Anschließend wird die Methode einführend erläutert und durch den Expertenrat eingeordnet. Es folgt eine Einordnung der Annahmen, auf deren Grundlage eine Gesamteinordnung des Sektors erfolgt, ob der 50/50-Emissionspfad[41] über oder unter dem in den Projektionsdaten 2024 projizierten Emissionspfads liegt.

69 Für die Prüfung der Methode werden die Kriterien i) Transparenz und ii) interne Konsistenz angewandt. Die Erläuterungen der Kriterien können Kapitel 3.2 entnommen werden. Die Einordnung der externen Konsistenz ist nur auf der Ebene des Modellverbunds relevant und wurde dort betrachtet.

70 Für die Prüfung werden wesentliche Annahmen in sektorspezifischen Tabellen entlang der Kriterien i) modellexogene Rahmendaten und sonstige Parameter, ii) modellendogene Rahmendaten und sonstige Parameter, iii) Instrumentenausgestaltung, und -finanzierung; sowie iv) implizite Annahmen und Umsetzungsvoraussetzungen eingeordnet. Die Prüfung der wesentlichen sektorspezifischen Annahmen erfolgt nach einem einheitlichen Schema: i) Abgleich der Annahmen aus dem Projektionsbericht 2024 mit dem aktuellen Stand des Wissens, ii) Einordnung wesentlicher Annahmen in Bezug zu einem vermuteten *ebenso wahrscheinlichen wie unwahrscheinlichen* Wert sowie iii) Bewertung der annahmebedingten Unsicherheit in der Modellierung des Sektors.

71 Als Ergebnis der Prüfung wird für jeden Sektor dargelegt, welche Aspekte Hinweise auf eine Unter- oder Überschätzung des projizierten Emissionspfads liefern. Zudem wird eingeordnet, in welchen Bereichen größere Unsicherheiten bestehen sowie welche Umsetzungsvoraussetzungen als gegeben angenommen werden.

72 Auf dieser Basis erfolgt abschließend eine Gesamteinordnung dahingehend, ob die Projektionsdaten für den jeweiligen Sektor oberhalb oder unterhalb des hypothetischen 50/50-Emissionspfades liegen.

[40] Auf Nachfrage beim Umweltbundesamt hinsichtlich der Verwendung der importierten und heimischen Mengen an flüssigen synthetischen Energieträgern von 30 TWh verblieb auf Basis der zur Verfügung stehenden Daten ein Delta von 20,3 TWh, deren Verwendung nicht zugwiesen wurde. 9,7 TWh wurden dem Verkehrssektor zugewiesen.

[41] Der 50/50-Emissionspfad beschreibt einen „mittleren" Emissionspfad. D. h., 50% der denkbaren Emissionspfade liegen über dem 50/50-Emissionspfad und 50% darunter (siehe Kapitel 2).

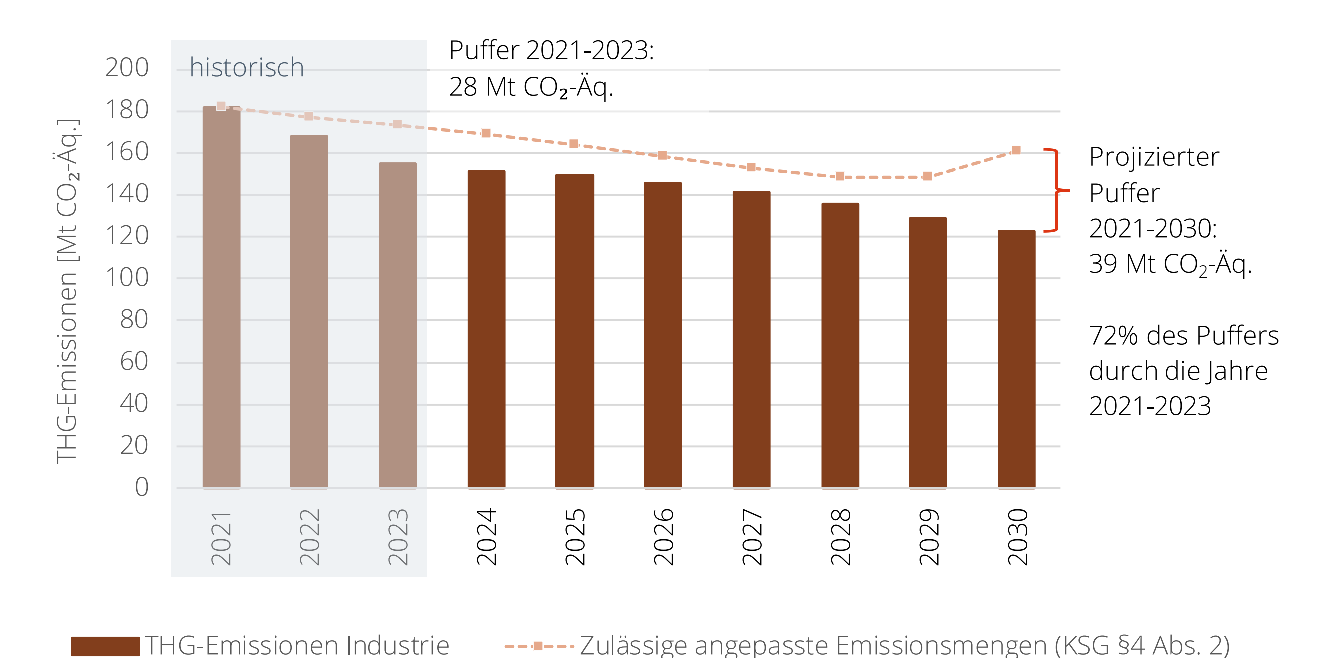


3.3.3.1 Industrie

Entwicklung der THG-Emissionen

73 Im Industriesektor würden die THG-Emissionen laut Projektionsdaten 2024 von 182 Mt CO_2-Äq. im Jahr 2021 auf 122 Mt CO_2-Äq. im Jahr 2030 sinken, also um rund 33 %. Für den Zeitraum 2021-2030 ergibt sich laut Bundes-Klimaschutzgesetz kumuliert ein THG-Budget von 1 517 Mt CO_2-Äq. Im Zeitraum 2021-2030 fielen laut Projektionsdaten 2024 THG-Emissionen in Höhe von 1 478 Mt CO_2-Äq. an. Dies würde mit einer Unterschreitung des THG-Budgets um 39 Mt CO_2-Äq. einhergehen (siehe Abbildung 8).

Abbildung 8: Entwicklung der historischen und projizierten THG-Emissionen im Sektor Industrie



Eigene Darstellung basierend auf UBA (2024b), UBA (2024e) und ERK (2024a). Zulässige Jahresemissionsmenge für die Jahre 2024 bis 2030 neu berechnet gemäß des Ausgleichsmechanismus nach ERK (2024a).

Einordnung des methodischen Vorgehens

74 Der Industriesektor wird mittels FORECAST-Industry modelliert (Öko-Institut et al. 2023). Methodisch basiert das Simulationsmodell FORECAST auf einem technologiespezifischem Bottom-up-Ansatz. Dieser erlaubt, die zukünftige Entwicklung von Energieverbrauch und THG-Emissionen an die technologische Entwicklung im Sektor zu knüpfen. Als exogene Größen gehen insbesondere die Produktionsmengen und die Energieträger- und CO_2-Preise in das Modell ein.

75 Die übermittelten Unterlagen sowie der Austauschtermin mit dem Konsortium führten zu dem Ergebnis, dass das methodische Vorgehen in den Grundzügen nachvollzogen werden konnte. Das Modell ist zudem ausführlich in Öko-Institut et al. (2023) und in Fleiter et al. (2018) beschrieben. Die gesamte Industrie wird mit einem hohen technologischen Detailgrad dargestellt und der Modellrahmen erlaubt auch eine Wirkungsabschätzung von Politikmaßnahmen. Das Modell FORECAST-Industry wirkt in sich schlüssig. Allerdings werden Wechselwirkungen mit anderen Sektoren (insbesondere Verkehr, Gebäude und Energiewirtschaft) nur unvollständig abgebildet, was die interne Konsistenz des Modellverbunds beeinträchtigt.

Einordnung der Annahmen

76 Tabelle 3 zeigt zusammenfassend die Einordnung wesentlicher Annahmen und Ergebnisse der Projektionsdaten 2024 im Sektor Industrie.

Tabelle 3: Einordnung wesentlicher Annahmen und Ergebnisse der Projektionsdaten 2024 im Sektor Industrie

Aspekt	Annahme in den Projektionsdaten 2024	Einordnung	Gemäß Einordnung wäre zu erwarten, dass die THG-Emissionen [...] liegen als in den Projektionsdaten 2024 angenommen
Kriterium: Modellexogene Rahmendaten und sonstige Parameter			
Produktionsmengen energieintensive Industrie	• Erholung auf Vorkrisenniveau bis 2028, danach Ausrichtung an Bruttowertschöpfung • Berücksichtigung bekannter Standortschließungen	• Wirtschaftliche Erholung bislang für die nahe Zukunft nicht erwartet • Geringere Produktionsmengen würden gemäß Modelllogik zu geringeren THG-Emissionen führen	⇩ ... niedriger
ETS-Preispfad	• Exogene Preiszeitreihe • Beeinflusst Umstellungsinvestitionen	• ETS-Preispfad als zu hoch eingeschätzt • In Folge ist Transformation zu CO_2-armen oder -freien Produktionsverfahren zu schnell • Niedriger ETS-Preispfad würden gemäß Modelllogik zu höheren THG-Emissionen führen	⇧ ... höher
Kriterium: Modellendogene Rahmendaten und sonstige Parameter			
Einsatz Biomasse	• Einsatz von Biomasse modellendogen über Preisannahmen bestimmt • Laut Aussage der Modellierenden keine Begrenzung der Biomassenutzung	• Begrenzte Biomassenutzung würde zu höheren THG-Emissionen führen	⇧ ... höher
Transformations-geschwindigkeit (Elektrifizierungsgrad und Wasserstoffhochlauf)	• Modellendogenes Ergebnis. • Beeinflussung durch externe Rahmendaten (ETS-Preis) sowie Maßnahmenwirkungen	• Mögliche Überschätzung des ETS-Preises und Unsicherheiten bei Maßnahmenwirkungen • Geschwindigkeit tendenziell überschätzt	• Enthalten in Einschätzung zu ETS-Preispfad sowie Maßnahmenwirkung



Aspekt	Annahme in den Projektionsdaten 2024	Einordnung	Gemäß Einordnung wäre zu erwarten, dass die THG-Emissionen […] liegen als in den Projektionsdaten 2024 angenommen
Kriterium: Instrumenten-ausgestaltung und -finanzierung			
Maßnahmenwirkung	• Ausgestaltung, Wirkung und Finanzierung von Maßnahmen basieren auf Informationen zum Zeitpunkt Erstellung der Projektionsdaten 2024 • Annahme Förderprogramme: effektive Mittelverwendung	• Verringerung Maßnahmenwirkung durch Mittelkürzungen, etwa durch das KTF-Urteil • Minderungswirkungen können anders ausfallen, wenn Reaktion auf Instrumente anders als erwartet • Einschätzung der Wirkung neuer Maßnahmen aufgrund fehlender vergleichbarer Programme schwierig	⇧ … höher
Kriterium: Implizite Annahmen und Umsetzungsvoraussetzungen			
Keine Angabe			

Eigene Darstellung.

77 Im Folgenden werden Faktoren aufgeführt, für die Hinweise bestehen, dass die THG-Emissionen höher (Unterschätzung des projizierten Emissionspfads) oder niedriger (Überschätzung des projizierten Emissionspfads) ausfallen könnten als in den Projektionsdaten 2024 ausgewiesen.

78 Die Prüfung der exogenen Annahmen sowie der Modellergebnisse bietet etliche Hinweise auf eine Unterschätzung des projizierten Emissionspfads. Insbesondere führt der als zu hoch eingeschätzte EU-ETS-Preis[42] (siehe Kapitel 3.3.1.1) in Verbindung mit den Unsicherheiten über die Ausgestaltung, Wirkung und Finanzierung weiterer in den Modellrechnungen berücksichtigter Maßnahmen[43] tendenziell zu

[42] Der hohe EU-ETS-Preis kann sich im Modellrahmen nicht auf einen Wegfall der Produktionskapazitäten auswirken, da die Produktionsmengen dem Modell exogen vorgegeben sind. Das führt dazu, dass ein hoher EU-ETS-Preis im Rahmen des Modells eine zu schnelle Transformation der energieintensiven Industrie hin zur CO_2-armen Produktion bedingt.

[43] Zusätzlich zum EU-ETS wurden bei der Modellierung unter anderem noch folgende Maßnahmen zur Dekarbonisierung und zur Erhöhung der Energieeffizienz einbezogen: die Bundesförderung für Energie- und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft (EEW), die Ökodesign-Richtlinie, das Förderprogramm Dekarbonisierung in der Industrie, die Klimaschutzverträge und das IPCEI-Projekt zu Wasserstoff in der Industrieproduktion (UBA 2024i). Die Projektionsdaten 2024 decken damit alle wesentlichen aktuellen politischen Maßnahmen im Industriesektor ab. Laut den Modellierenden unterliegt die Wirkung der Maßnahmen einigen Unsicherheiten. Insbesondere die Wirkung der Förderprogramme ist von der effektiven Mittelverwendung abhängig. Zudem sind Unsicherheiten bei der politischen Ausgestaltung der Instrumente vorhanden. Das betrifft auch die Fortschreibung der Budgets der Fördermengen, wie beispielsweise durch Mittelkürzungen im Zuge des KTF-Urteils ersichtlich wurde (ERK 2024a). Schließlich können Minderungswirkungen allgemein anders ausfallen, wenn das Verhalten bzw. die Reaktion auf Instrumente anders ist als erwartet. Prognos und ifeu (2024) ergänzt, dass Neuerungen in Maßnahmen aufgrund des langen Modellierungszeitraums nicht immer in den Projektionsdaten berücksichtigt sind und für neue Maßnahmen wie die Klimaschutzverträge eine Aussage zur Wirkung aufgrund fehlender vergleichbarer Förderprogramme schwierig ist.

einer Überschätzung der Umstellinvestitionen (siehe auch Abbildung A 7 und Abbildung A 8). Schließlich bewirkt die zunehmende Biomassenutzung im Modell eine deutliche Minderung der THG-Emissionen, welche bei einer Begrenzung des Biomasseeinsatzes höher ausfallen würden (siehe auch Kapitel 3.3.2).

79 Die Prüfung der exogenen Annahmen sowie der Modellergebnisse bietet jedoch ebenso einen Hinweis auf eine Überschätzung des projizierten Emissionspfads. So erscheinen die exogen vorgegebenen Produktionsmengen und die Annahme einer Erholung der energieintensiven Industrie bis zum Jahr 2028 auf das Vorkrisenniveau angesichts aktueller Entwicklungen in der Tendenz zu hoch. Prognos und ifeu (2024) geht davon aus, dass die Erholung der Produktionsmengen eine konservative Annahme darstellt und entgegen dem historischen Trend verläuft. Es wurden zwar Standortschließungen, die zum Zeitpunkt der Rahmendatenfestlegung bekannt waren, einbezogen, dennoch sind dauerhafte Minderungen von Produktionskapazitäten in Deutschland aufgrund des wachsenden Kostendrucks und schwieriger Standortbedingungen möglich.[44]

80 Ein niedrigerer EU-ETS-Preis würde laut Sensitivitätsanalyse der Projektionsdaten 2024 kumuliert über den Zeitraum 2024-2030 zu ca. 28 Mt CO_2-Äq. höheren THG-Emissionen in der Industrie (Kapitel 3.1.2) führen. Für die Sensitivitätsanalyse der Produktionsmengen in der Industrie wird eine langsamere Erholung der Produktionsmengen angenommen (siehe Tabelle A 2 im Anhang). Eine geringere Produktionsmenge bis zum Jahr 2030 würde laut Sensitivitätsanalyse der Projektionsdaten 2024 kumuliert über den Zeitraum 2024-2030 zu ca. 70 Mt CO_2-Äq. niedrigeren THG-Emissionen in der Industrie führen (Kapitel 3.1.2). Ob die in der Sensitivitätsanalyse unterstellte Produktionsmenge näher am 50/50-Emissionspfad liegt als die Annahme in den Projektionsdaten 2024, ist schwierig abzuschätzen, da dies mit diversen größeren (und auch „externen") Unsicherheiten, wie der globalen wirtschaftlichen Entwicklung, verbunden ist. Auch gibt es Wechselwirkungen zwischen EU-ETS-Preis und Produktionsmengen, die vom Modell und den gerechneten Sensitivitäten nicht erfasst werden.

Gesamteinordnung der Projektionsdaten 2024 im Sektor Industrie

81 Der in den Projektionsdaten 2024 modellierte Rückgang der THG-Emissionen um 33 % innerhalb der nächsten 6 Jahre scheint eher unwahrscheinlich. Die Wirkungen einer Überschätzung der Produktionsmengen und einer Überschätzung der Transformationsgeschwindigkeit auf die THG-Emissionen könnten sich zwar ausgleichen. Für wahrscheinlicher wird jedoch gehalten, dass die THG-Emissionen weniger stark zurückgehen als projiziert. Der Expertenrat geht davon aus, dass der 50/50-Emissionspfad für den Sektor Industrie somit leicht über dem in den Projektionsdaten 2024 projizierten Emissionspfad des Sektors liegt.

3.3.3.2 Gebäude

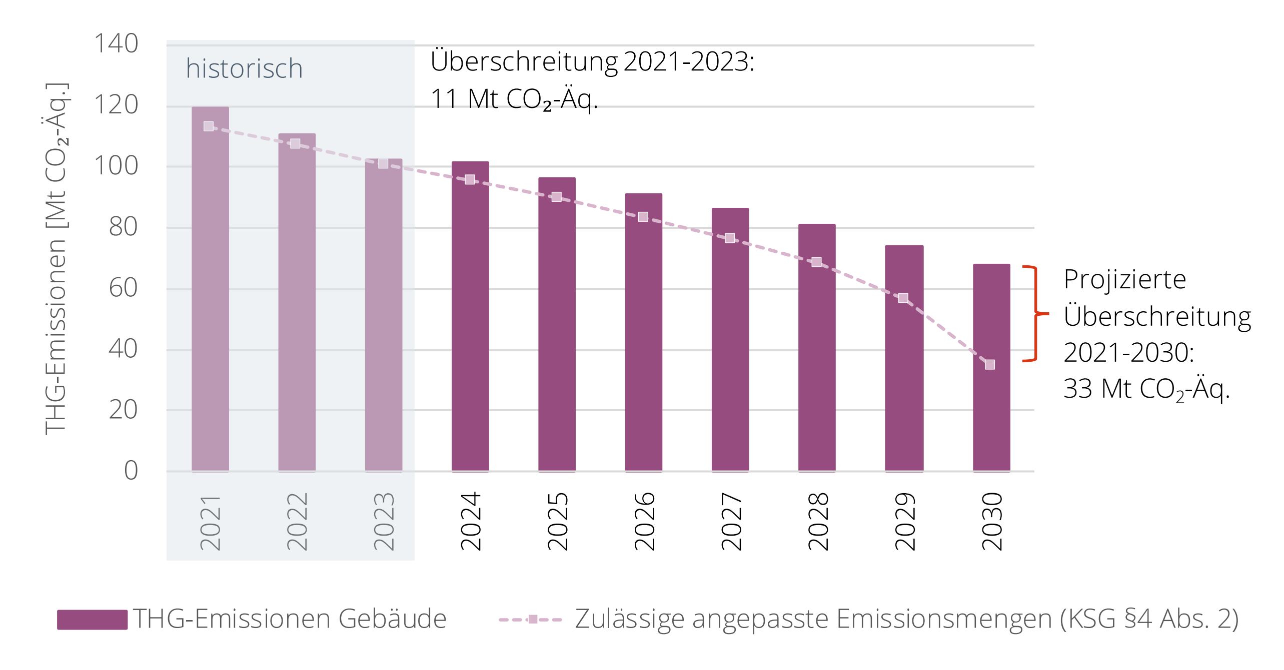
Entwicklung der THG-Emissionen

82 Im Gebäudesektor würden die THG-Emissionen laut Projektionsdaten 2024 von 119 Mt CO_2-Äq. im Jahr 2021 auf 68 Mt CO_2-Äq. im Jahr 2030 sinken, also um rund 43 %. Für den Zeitraum 2021-2030 ergibt sich nach Bundes-Klimaschutzgesetz kumuliert ein THG-Budget von 897 Mt CO_2-Äq. Im Zeitraum 2021-2030 fielen laut Projektionsdaten 2024 jedoch TGH-Emissionen in Höhe von 930 Mt CO_2-Äq. an. Dies würde eine Überschreitung des THG-Budgets um 33 Mt CO_2-Äq. bedeuten (siehe Abbildung 9).

[44] Dies zeigt exemplarisch Thyssenkrupp (2024) für die Stahlsparte und DIHK (2024) in einer Standort-Umfrage mit 2 200 Betrieben.



Abbildung 9: Entwicklung der historischen und projizierten THG-Emissionen im Sektor Gebäude



Eigene Darstellung basierend auf UBA (2024b), UBA (2024e) und ERK (2024a). Zulässige Jahresemissionsmenge für die Jahre 2024 bis 2030 neu berechnet gemäß des Ausgleichsmechanismus nach ERK (2024a).

Einordnung des methodischen Vorgehens

83 Für die Projektion der THG-Emissionen des Gebäudesektors werden das Modell Invert/ee-Lab von IREES (Steinbach 2016), für die Einzelmaßnahmenbewertung ein Excel-basiertes Wirkmodell (Öko-Institut 2023) sowie für weitere Energieverbräuche, bspw. Geräte und Prozesse in GHD, das Modell FORECAST vom Fraunhofer ISI[45] genutzt. Das für die Modellierung der THG-Emissionen verwendete Modell Invert/ee-Lab ist im Projektionsbericht 2023 (Öko-Institut 2023) detailliert und mit Verweis auf weitere Literatur zu dem Modell beschrieben.

84 Die übermittelten Unterlagen sowie der Austauschtermin mit dem Konsortium führten zu dem Ergebnis, dass die Methode in den Grundzügen nachvollzogen werden konnte. Wichtige exogene und endogene Rahmendaten sowie sonstige Modellparameter konnten eingesehen und geprüft werden. Als kritisch zu sehen ist bei der Modellierung laut Aussage des Forschungskonsortiums die unzureichende statistische Datenbasis für den Gebäudebestand in Deutschland. Darauf hat auch der Expertenrat bereits in früheren Gutachten hingewiesen (ERK 2022). Zudem erfolgt die Wirkabschätzung der politischen Instrumente über eine Einzelmaßnahmenbewertung und keine integrierte Modellierung. Als Stärke wird die Abbildung des Entscheidungsverhaltens der Investoren mittels verschiedener Agenten im Modell erachtet. Dabei ist nach Auffassung des Forschungskonsortiums jedoch zu berücksichtigen, dass das Handeln der Agenten im Modell auf empirischen (Befragungs-)Daten aus der Vergangenheit beruht und somit mögliche Veränderungen individueller und gesellschaftlicher Einstellungen im Zeitablauf nicht abbildet. Die Parametrisierung der Agentenentscheidung ist daher mit Unsicherheiten behaftet. Das methodische Vorgehen wird grundsätzlich als intern konsistent angesehen. Es ist jedoch anzumerken,

[45] Weitere Informationen unter http://www.forecast-model.eu/

dass keine Rückkopplung der Neubauaktivität zum Industriesektor vorhanden ist. Darüber hinaus ist die Investitionsneigung der Agenten im Modell möglicherweise überschätzt. Denn die für energetische Sanierungen und Modernisierungen aufzubringenden Investitionsmittel werden als gegeben vorausgesetzt.

Einordnung der Annahmen

85 Tabelle 4 zeigt zusammenfassend die Einordnung wesentlicher Annahmen und Ergebnisse der Projektionsdaten 2024 im Sektor Gebäude.

Tabelle 4: Einordnung wesentlicher Annahmen und Ergebnisse der Projektionsdaten 2024 im Sektor Gebäude

Aspekt	Annahme in den Projektionsdaten 2024	Einordnung	Gemäß Einordnung wäre zu erwarten, dass die THG-Emissionen […] liegen als in den Projektionsdaten 2024 angenommen
	Kriterium: Modellexogene Rahmendaten und sonstige Parameter		
Wohnfläche	• Zunehmende Wohnfläche pro Kopf: o 2025: 47,2 m²/Einwohner*in o 2030: 48,5 m²/Einwohner*in • Emissionserhöhung im Jahr 2030 durch Neubau: 1,7 Mt CO_2-Äq/Jahr	• Möglicherweise Unterschätzung der Wohnfläche • Jedoch keine bedeutsamen Auswirkungen auf den Emissionspfad erwartet, da v. a. Neubau	⇕ … nicht eindeutig höher oder niedriger…
Klimaeffekt	• Stetig abnehmende Heizgradtage: o 2024: 3259 o 2030: 3220	• Ggf. Überschätzung der THG-Einsparung durch unzureichende Berücksichtigung von klimatischen Schwankungen zwischen den Jahren. • Schwankungen könnten sich gerade in einem kurzen Zeitraum (bis 2030) deutlich auf Emissionshöhe und Zielerreichung auswirken	⇧ … höher…
Strompreise/Vorteilhaftigkeit Wärmepumpen	• Wärmepumpen-Strompreis sinkt von 30,3 ct/kWh auf 23,65 ct/kWh in 2030	• Ggf. ist perspektivisch aufgrund steigender Netzentgelte mit höheren Haushaltsstrompreisen zu rechnen als in der Modellierung verwendet • Dies wäre möglicherweise mit einem geringeren Zubau an Wärmepumpen verbunden	⇕ … nicht eindeutig höher oder niedriger…



Aspekt	Annahme in den Projektionsdaten 2024	Einordnung	Gemäß Einordnung wäre zu erwarten, dass die THG-Emissionen […] liegen als in den Projektionsdaten 2024 angenommen
		Kriterium: Modellendogene Rahmendaten und sonstige Parameter	
Sanierungsrate	• Sanierungsrate von 1,9 % für Wohngebäude und von 1,4 % für Nichtwohngebäude • Vollumfängliche Sanierungen und Teilsanierungen berücksichtigt	• Sanierungsrate unsicher durch Hemmnisse, wie: Fachkräftemangel, Mangel an finanziellen Mitteln bzw. Rücklagen, Vermieter-Mieter-Dilemma, Informationsdefiziten und hohen Baukosten • Steigerung der Sanierungsrate durch serielle Sanierung möglich	⇧ … höher…
Austausch Heizsysteme	• Installationszahlen Wärmepumpen in Neubau und Bestand: • 2024: 222 441 • 2025: 249 573 • Sensitivitätsanalysen zu verkürzter und verlängerter Lebensdauer von Heiztechnik: rund +/- 10 Mt CO_2-Äq	• Angenommene Installationszahlen an Wärmepumpen erscheinen nicht überschätzt • Sensitivitäten zeigen, dass geringe Änderungen in angenommenen Lebensdauern der Wärmeversorgungssysteme deutliche Auswirkungen auf kumulierten THG-Emissionen bis 2030 haben können	⇳ … nicht eindeutig höher oder niedriger…
Einsatz Biomasse	• Unbegrenzte Verfügbarkeit an Biomasse für den Gebäudesektor	• Annahme einer unbegrenzten Verfügbarkeit an Biomasse wird als unrealistisch eingestuft. Mögliche Auswirkungen geringerer Biomasseeinsatz abhängig von gewählter Alternative	⇳ … nicht eindeutig höher oder niedriger…

Aspekt	Annahme in den Projektionsdaten 2024	Einordnung	Gemäß Einordnung wäre zu erwarten, dass die THG-Emissionen [...] liegen als in den Projektionsdaten 2024 angenommen
Ausbau Fernwärme/Netzanschlüsse (Gebäude)	• Modellierte Anschlüsse an Wärmenetze [Anzahl Gebäude]: o 2024: 70 442 o 2025: 74 703 o 2026: 85 961 o 2027: 97 219 o 2028: 108 477 o 2029: 119 735 o 2030: 130 992	• Zunahme an Wärmenetzanschlüssen erscheint grundlegend realistisch, die Größenordnung des Zubaus ist jedoch unsicher und abhängig von der gewählten alternativen Erfüllungsoption	⇕ … nicht eindeutig höher oder niedriger…
Kriterium: Instrumentenausgestaltung und -finanzierung			
Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG)	• Mittelbelegung für Neuzusagen der BEG: 18 Mrd. Euro (2021), 29 Mrd. Euro (2022), 13 Mrd. Euro (2023) und 9 Mrd. Euro (2024) • Mittelausschöpfung der BEG von 100 %	• Höhe der langfristigen Finanzierung über den KTF unsicher • Minderungswirkung der BEG ist möglicherweise überschätzt, da die Mittelabrufquote in den vergangenen Jahren bei ca. 66 % lag • Eine Plausibilisierung der Mittelbelegung für Neuzusagen konnte auf Basis der Haushaltspläne nicht durchgeführt werden.	⇧ … höher…
Implementierung 65%-Regel	• Implementierung der 65 %-Regel gemäß GEG-Novelle 2024 (UBA 2024k)	• Die 65 %-Regel erscheint angemessen im Modell berücksichtigt • Unsicherheiten bestehen jedoch bei der Umsetzung der Anforderungen, insbesondere hinsichtlich Verschneidungen mit kommunaler Wärmeplanung. • Die Entwicklung klimaneutraler Wärmeversorgung bei Neuinstallationen erscheint plausibel	⇕ … nicht eindeutig höher oder niedriger…
Budgetrestriktionen für energetische Gebäudesanierung und Heizungstausch	• Für private Haushalte und Kommunen wurde keine Budgetlimitierung angenommen	• Mögliche Überschätzung von Sanierungen und Heizungstausch wegen de facto Budgetlimitierungen	⇧ … höher …

Eigene Darstellung.



86 Im Folgenden werden Faktoren aufgeführt, für die Hinweise bestehen, dass die THG-Emissionen höher (Unterschätzung des projizierten Emissionspfads) oder niedriger (Überschätzung des projizierten Emissionspfads) ausfallen könnten als in den Projektionsdaten 2024 ausgewiesen.

87 Hinweise für eine Unterschätzung des projizierten Emissionspfads lassen sich sowohl bei den exogenen Annahmen als auch in den Modellergebnissen finden. So sind insbesondere Annahmen zur Entwicklung der Heizgradtage, der Einsparungen im Endenergieverbrauch durch Sanierungen und zur Finanzierung der BEG als unsicher und optimistisch einzustufen. In den Projektionsdaten 2024 werden stetig sinkende Heizgradtage angenommen, was weiterhin zu erwartende Witterungsschwankungen weitgehend ausblendet. Solche Schwankungen können gerade in der kurzen Frist bis zum Jahr 2030 die Emissionshöhe und damit auch die Zielerreichung stark beeinflussen.[46] Ein Vergleich des historischen Emissionspfads mit und ohne Temperaturbereinigung zeigt, dass der Witterungseffekt in den vergangenen Jahren einen substanziellen und stark schwankenden Effekt auf die berichteten THG-Emissionen hatte (siehe Abbildung A 9). Hinsichtlich der Reduzierung des Endenergieverbrauchs in privaten Haushalten geht aus den Projektionsdaten 2024 hervor, dass im Jahr 2024 31 TWh und in 2030 101 TWh im Vergleich zu dem Jahr 2021 durch Sanierungen eingespart würden. Inwiefern diese Verdreifachung tatsächlich erreicht wird, erscheint unter Berücksichtigung nahezu stagnierender temperaturbereinigter Endenergieverbräuche in den vergangenen zehn Jahren (ERK 2022) als sehr optimistische Annahme.[47]

88 Zudem gibt es größere Unsicherheiten hinsichtlich der Umsetzungsvoraussetzungen. Da die Rücklagen des KTF infolge des Urteils des Bundesverfassungsgerichts fast aufgebraucht sind, könnte die langfristige Finanzierung der Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) beeinträchtigt sein (ERK 2024a), was mit einer verminderten Emissionsminderung einhergehen würde. Zudem ist die Höhe der Mittelabrufquote unsicher, möglicherweise jedoch überschätzt.[48] Darüber hinaus ist die Wirkung der 65%-Regel in Verbindung mit der BEG-Anpassung hinsichtlich der praktischen Umsetzung der Anforderungen zum jetzigen Zeitpunkt nicht sicher. Wenngleich der Zubau an Wärmepumpen als nicht unwahrscheinlich eingeordnet wird (Abbildung A 10 und Abbildung A 11), könnte es zu Verzögerungen

[46] Für das vergleichsweise kalte Jahr 2021 stellte der Expertenrat bspw. fest, dass sich gegenüber dem Vorjahr 2020 (einem vergleichsweise warmen Jahr) eine temperaturbedingte Emissionssteigerung von 10–14 Mt CO_2-Äq. ergab. Auch Prognos und ifeu (2024) weisen darauf hin, dass sehr warme Winter nicht für alle Jahre erwartet werden sollten, weshalb die auf den Klimaeffekt zurückzuführende Emissionsminderung um kumuliert bis zu +45 Mt CO_2-Äq. bis zum Jahr 2030 überschätzt sein könnte. Insgesamt ist die Entwicklung der Heizgradtage an einem Szenario mit >2°C Erwärmung orientiert, was unsicher, aber möglich erscheint (zwischen Klimaszenarien RCP 4.5 und RCP 8.5, Agora Energiewende 2024b).

[47] In den Projektionsdaten 2024 wird eine Sanierungsrate von 1,9 % für Wohngebäude angenommen. Darin enthalten sind sowohl vollumfängliche Sanierungen als auch Teilsanierungen. Aufgrund vielfältiger Einflussfaktoren kommt es zu gegenläufigen Effekten. Hinweise für eine Überschätzung der Sanierungsrate sind Sanierungshemmnisse, wie der Fachkräftemangel und mögliche Baupreissteigerungen, die laut Forschungskonsortium mangels empirischer Datengrundlage nicht berücksichtigt werden konnten. In den Projektionsdaten 2024 wird zudem von einer steigenden Investitionseffizienz, also zunehmender Energieeinsparungen je investierter Einheit, bei der Sanierung ausgegangen. Diese Entwicklung erscheint trotz des Hochlaufs der seriellen Sanierung zumindest fraglich, siehe auch Prognos und ifeu (2024). Empirisch lag die Sanierungsquote im Jahr 2023 übergreifend bei 0,7 % (BuVEG 2024). Insgesamt erscheint es unsicher, ob die Sanierungsrate bzw. die angenommenen Verminderungen des Endenergieverbrauchs durch Sanierungen in Gänze realisiert werden können. Daher schätzt der Expertenrat die Minderungswirkung durch Sanierungen als tendenziell optimistisch ein.

[48] Die Mittelabrufquote der BEG lag in den letzten Jahren bei rund zwei Dritteln (Bär und Collmer 2024). Damit liegt die Abrufquote zwar verhältnismäßig hoch, entspricht aber nicht den im Projektionsbericht 2024 angenommenen 100 %. Die Mittelabrufquote nach Umstrukturierung der BEG ist jedoch nicht bekannt, daher ist diese Einschätzung mit Unsicherheit behaftet.

hinsichtlich des Ausbaus und der Umrüstung von Wärmenetzen[49] sowie der Reduzierung des fossilen Kapitalstocks[50] kommen. Ob Biomasse in der angenommenen Größenordnung zur Verfügung stehen wird, ist aufgrund der Konkurrenz zwischen den Sektoren zumindest fraglich (RZ 65).

89 Offenkundige Hinweise für eine Überschätzung der projizierten THG-Emissionen im Gebäudesektor sieht der Expertenrat nicht. Der Projektionsbericht 2024 deckt alle wesentlichen aktuellen politischen Maßnahmen im Gebäudesektor ab.

Gesamteinordnung der Projektionsdaten 2024 im Sektor Gebäude

90 Der in den Projektionsdaten 2024 modellierte Rückgang der THG-Emissionen um 66 % innerhalb der nächsten 6 Jahre scheint eher unwahrscheinlich. Es gibt erhebliche Unsicherheiten in Bezug auf die Entwicklung exogener Rahmendaten, die insgesamt darauf hindeuten, dass die THG-Emissionen weniger stark zurückgehen als projiziert. Der Expertentat geht davon aus, dass der 50/50-Emissionspfad für den Sektor Gebäude somit über dem in den Projektionsdaten 2024 projizierten Emissionspfad des Sektors liegt.

3.3.3.3 Verkehr

Entwicklung der THG-Emissionen

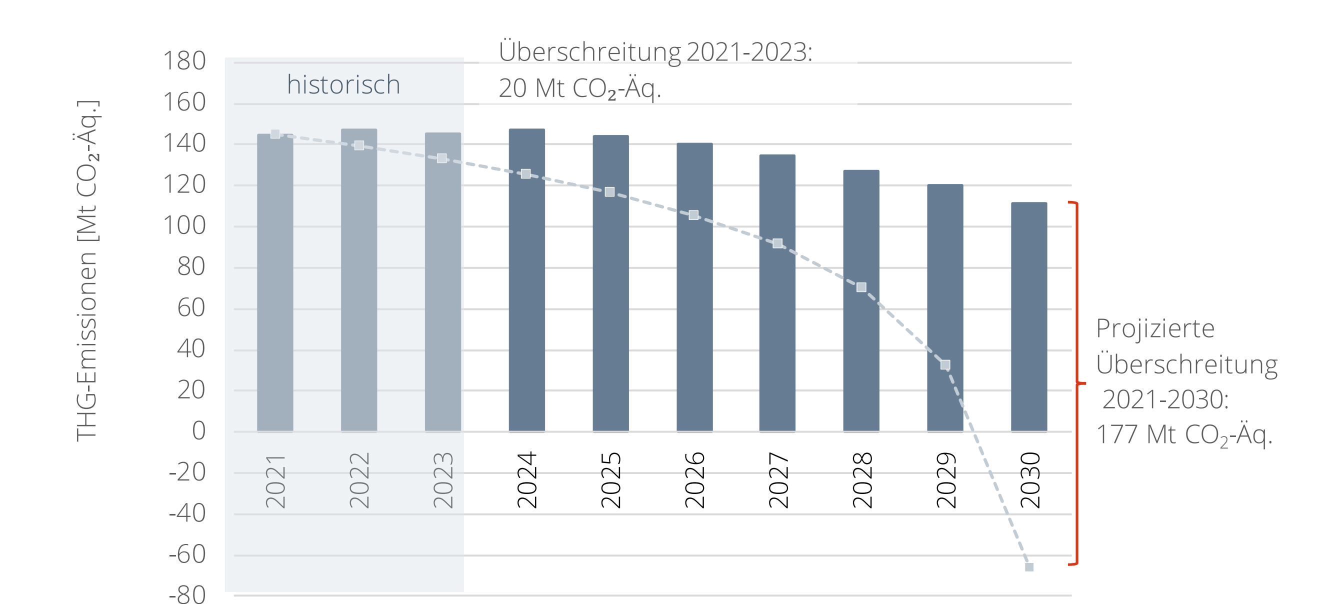
91 Im Verkehrssektor würden die THG-Emissionen laut Projektionsdaten 2024 von 144 Mt CO_2-Äq. im Jahr 2021 auf 111 Mt CO_2-Äq. im Jahr 2030 sinken, also um rund 23 %. Für den Zeitraum 2021-2030 ergibt sich laut Bundes-Klimaschutzgesetz kumuliert ein THG-Budget von 1 184 Mt CO_2-Äq. Im Zeitraum 2021-2030 fielen laut Projektionsdaten 2024 jedoch THG-Emissionen in Höhe von 1 361 Mt CO_2-Äq. an. Dies würde mit einer Überschreitung des THG-Budgets um 177 Mt CO_2-Äq. und damit 15 % einhergehen (siehe Abbildung 10).

[49] In den Projektionsdaten 2024 wird eine Zunahme der Gebäudeanschlüsse an Wärmenetze von 70 442 im Jahr 2024 auf 130 992 im Jahr 2030 ausgewiesen. Laut BDEW (2023a) nutzten bereits 6 % der 19,5 Mio. Wohngebäude im Jahr 2023 Fernwärme. Das entspricht rund 1,17 Mio. Gebäuden. Ob die Anzahl neuer Gebäudeanschlüsse an Wärmenetze zwischen 2024 und 2030 fast verdoppelt werden kann, erscheint vor diesem Hintergrund zumindest unsicher. Nichtsdestotrotz erscheint es möglich, dass auch aufgrund von Änderungen in den Rahmenbedingungen eine hohe Dynamik beim Ausbau der Wärmenetze entsteht.

[50] In den Sensitivitätsanalysen der Projektionsdaten 2024 würde eine verlängerte Lebensdauer der Heizsysteme um 10 % mit zusätzlichen kumulierten THG-Emissionen in Höhe von 8,3 Mt CO_2-Äq. bis 2030 einhergehen, eine 20%-ige Verlängerung mit 11,8 Mt CO_2-Äq. Gleichzeitig könnten laut Szenario „Begeisterung für die Wärmewende“ und einem damit verbundenen frühzeitigen Austausch an Heiztechnik bis zum Jahr 2030 kumuliert bis zu 12,1 Mt CO_2-Äq. (10 % Reduktion Lebensdauer) eingespart werden. Insgesamt geht der Expertenrat daher nicht davon aus, dass die Installationszahlen für Wärmepumpen überschätzt sind. Würde es zu einem verzögerten Austausch fossiler Heiztechnik kommen, wäre dies jedoch mit bedeutsamen Mehremissionen verbunden.



Abbildung 10: Entwicklung der historischen und projizierten THG-Emissionen im Sektor Verkehr



Eigene Darstellung basierend auf UBA (2024b), UBA (2024e) und ERK (2024a). Zulässige Jahresemissionsmenge für die Jahre 2024 bis 2030 neu berechnet gemäß des Ausgleichsmechanismus nach ERK (2024a).

Einordnung des methodischen Vorgehens

92 Für die Berechnung der zukünftigen THG-Emissionen im Verkehrssektor wird das Modell TEMPS des Öko-Instituts genutzt (Öko-Institut et al. 2023). Die Modellierung basiert auf politischen und ökonomischen Rahmenbedingungen. Ein zentrales Element ist das Neuzulassungsmodul, das die Anteile der Fahrzeugtypen und Effizienz neuer Fahrzeuge unter verschiedenen exogenen Rahmendaten wie CO_2-Zielen und Energiepreisen modelliert. Die Berechnung erfolgt über ein Antriebswahlmodell, das auf einem Nutzerkostenansatz (total cost of ownership (TCO)) beruht. Fahrzeugbestände und THG-Emissionen werden durch Überlebenskurven und Fahrleistungsdaten ermittelt. Das für die Modellierung der THG-Emissionen im Personen- und Güterverkehr verwendete Modell TEMPS ist im Projektionsbericht 2023 (Öko-Institut 2023) in den wesentlichen Zügen beschrieben.

93 Die übermittelten Unterlagen sowie der Austauschtermin mit dem Konsortium führten zu dem Ergebnis, dass die Methode in den Grundzügen nachvollzogen werden konnte (Öko-Institut et al. 2024). Die Kombination aus dem Neuzulassungsmodul mit einer hohen Anzahl an hinterlegten Profilen der Nutzenden und dem Bestandsmodul wird als weitestgehend geeignet bewertet. Kritische Punkte sind laut Forschungskonsortium der kontinuierliche Aufbau der Energieinfrastruktur, der lineare Hochlauf der CO_2-Flottengrenzwerte und die Kundeneinschätzung zu neuen Antriebssystemen (Öko-Institut et al. 2024). Diese Punkte werden vom Expertenrat geteilt. Hinsichtlich der internen Konsistenz bildet das Modell keine Wechselwirkungen mit der Industrie ab. Weiter wird die Kaufentscheidung allein auf Basis eines Kostenvergleichs getroffen und bildet beispielsweise keine Präferenzen ab. Die Wahl des Verkehrsträgers findet rein auf Basis empirisch abgeleiteter Elastizitäten statt und beinhaltet keine

individuellen Faktoren oder Gegebenheiten des Umfelds. Die Modellierung wird mit Einschränkungen als in sich intern konsistent bewertet.

Einordnung der Annahmen

94 Tabelle 5 zeigt zusammenfassend die Einordnung wesentlicher Annahmen und Ergebnisse der Projektionsdaten 2024 im Sektor Verkehr.

Tabelle 5: Einordnung wesentlicher Annahmen und Ergebnisse der Projektionsdaten 2024 im Sektor Verkehr

Aspekt	Annahme in den Projektionsdaten 2024	Einordnung	Gemäß Einordnung wäre zu erwarten, dass die THG-Emissionen […] liegen als in den Projektionsdaten 2024 angenommen
Kriterium: Modellexogene Rahmendaten und sonstige Parameter			
Verkehrs-nachfrage	• Basierend auf Aktualisierung des Referenzszenario 2050 der Mobilitäts- und Kraftstoffstrategie (MKS)-Referenz	• Verkehrsnachfrage u. a. abhängig von Wirtschaftsentwicklung und Bevölkerungsentwicklung • Wirtschaftsentwicklung weist darauf hin, dass kurzfristig die Güterverkehrsleistung überschätzt sein könnte • Bevölkerungsentwicklung in der Tendenz zu niedrig	⇕ …nicht eindeutig höher oder niedriger…
Strompreis	• Haushaltsstrompreise basieren auf Futures • Preis pro kWh von 0,29 EUR/kWh in 2023 und 0,23 EUR/kWh in 2030 • Aufschlag für Ladestrom von durchschnittlich 38 %	• Haushaltsstrompreise zu niedrig, da die potenziell steigenden Netzentgelte nicht berücksichtig wurden • Ladestrom variiert sehr stark; Preise liegen zwischen 0,39-0,79 EUR/kWh	⇧ … höher…
Kraftstoff-preise	• Rohölpreise orientieren sich an Futures • Kraftstoffpreis von 1,52 EUR_{2021} in 2023 und 1,64 EUR_{2021} in 2030 • Bis 2027 liegen die Preise unter dem vom 2023	• Rohölpreisannahmen sowohl am aktuellen Rand als auch in der Zukunft zu niedrig • Futurepreise zeigen deutlich höhere Preise für 2025 als in Projektionsdaten 2024 angenommen (ca. 26 % höher im Jahr 2025)	⇩ … niedriger…
Kriterium: Modellendogene Rahmendaten und sonstige Parameter			
Neuzulass-ungen Pkw	• Steigende Neuzulassungen von BEV • Sinkende Neuzulassungen von konventionellen Pkw	• Aktuell stagnieren Anteile der BEV an Neuzulassungen • Großteil der Neuzulassungen machen weiterhin Verbrenner, HEV und PHEV aus • Annahme aus Projektionsdaten 2024 ambitioniert	⇧ … höher…



Aspekt	Annahme in den Projektionsdaten 2024	Einordnung	Gemäß Einordnung wäre zu erwarten, dass die THG-Emissionen [...] liegen als in den Projektionsdaten 2024 angenommen
Flottengrenz-werte für Pkw	• Lineare Entwicklung der Flottengrenzwerte von 112 gCO_2-Äq./km in 2024 bis 52 gCO_2-Äq./km in 2030	• Kurzfristig von stufenförmigem Verlauf auszugehen • mittel bis langfristig ist Annahme realistisch	⇧ ... höher ...
Neuzulass-ungen E-Lkw	• E-Lkw Anteil von 6,8 % an den Neuzulassungen im Jahr 2024 • Steigt auf Anteil von 50,1 % in 2030	• Kurzfristig optimistisch, da Anteil im Jahr 2023 an vollelektrischen Zugmaschinen unter 1 % lag • Mittel- bis langfristige Entwicklung denkbar	⇧ ... höher ...
Kriterium: Instrumentenausgestaltung und -finanzierung			
KTF Finanzierung	• Projektionsdaten 2024 enthalten noch keine Kürzung	• Kürzung oder Ausfinanzierung in 16 Maßnahmen mit Verkehrsbezug (ca. 1,6 Mrd EUR)	⇧ ... höher ...
Kriterium implizite Annahmen und Umsetzungsvoraussetzungen			
Akzeptanz und Verfügbarkeit	• Verfügbarkeit und Akzeptanz keine Restriktion bei Käufer*innen	• Verfügbarkeit von BEV wächst • Sinkende Akzeptanz (acatech 2024). • Verfügbarkeit von E-Lkw gering	⇧ ... höher ...
Ladeinfra-struktur	• Bedarfsgerechter Ausbau der Ladeinfrastruktur	• Steigendes Fahrzeug zu Ladepunkt Verhältnis • Ladeinfrastruktur für E-Lkw noch nicht vorhanden	⇧ ... höher ...

Eigene Darstellung.

95 Im Folgenden werden Faktoren aufgeführt, für die Hinweise bestehen, dass die THG-Emissionen höher (Unterschätzung des projizierten Emissionspfads) oder niedriger (Überschätzung des projizierten Emissionspfads) ausfallen könnten als in den Projektionsdaten 2024 ausgewiesen.

96 Die Prüfung der exogen angenommenen Verkehrsnachfrage bietet keinen eindeutigen Hinweis auf eine Über- oder Unterschätzung. Einer in der Tendenz überschätzten Wirtschaftsleistung steht eine in der Tendenz unterschätzte Bevölkerungsentwicklung gegenüber. So würde die geringere Wirtschaftsleistung die Verkehrsnachfrage senken, wohingegen das Bevölkerungswachstum zu einem Anstieg führen würde.

97 Die Prüfung weiterer exogener Annahmen sowie der Modellergebnisse liefert Heinweise auf eine Unterschätzung der THG-Emissionen. Ursächlich hierfür sind eine ambitionierte Neuzulassungsquote

von elektrischen Pkw (BEV) [51] und E-Lkw[52], zu niedrig angenommene Haushalts- sowie Ladestrompreise und der bedarfsgerechte Ausbau der Ladeinfrastruktur für Pkw und Lkw. Weiter wird angenommen, dass sowohl die Verfügbarkeit als auch die Akzeptanz bei Käufer*innen keine Restriktion für die Neuzulassung von elektrischen Fahrzeugen darstellt.[53] Die aktuelle Entwicklung bei den Neuzulassungen von BEV und die Verzögerungen bei E-Lkw deuten auf einen als zu ambitioniert unterstellten Markthochlauf in der Modellierung der Elektromobilität hin. Dieser Verlauf hat entsprechende Auswirkungen auf den Bestand. Der Abbau des fossilen Kapitalstocks ist zwar modellendogen konsistent[54], jedoch mit den zuvor genannten Limitationen nicht realistisch. Diese Effekte führen zu einer deutlichen Unterschätzung der projizierten THG-Emissionen für den Zeitraum bis 2030.

98 Diesen Effekten steht ein in der Tendenz zu niedrig angenommener Kraftstoffpreis entgegen, der zu einer möglichen Überschätzung der THG-Emissionen führen kann. Der Projektionsbericht 2024 deckt alle wesentlichen aktuellen politischen Maßnahmen im Verkehrssektor ab. Somit bestehen keine weiteren Hinweise für eine mögliche Überschätzung.

99 Zudem gibt es größere Unsicherheiten hinsichtlich der Umsetzungsvoraussetzungen und der Finanzierung klimapolitischer Maßnahmen im Verkehrssektor. Durch das Urteil zum Klima- und Transformationsfonds (BVerfG 2023) kam es hier zu weitreichenden Kürzungen oder auch der Streichung von Programmen (siehe ERK 2024a). Darunter fallen beispielsweise Förderprogramme im Bereich der Ladeinfrastruktur, der Anschaffung klimaneutraler Fahrzeuge oder des öffentlichen Verkehrs. Es ist zu erwarten, dass die reduzierten bzw. gestrichenen Mittel die angenommene Maßnahmenwirkung in den Projektionsdaten 2024 mindern. Weiter ist zur Erfüllung der THG-Quote, neben Strom, die Verfügbarkeit von synthetischen und biogenen Kraftstoffen notwendig.

Gesamteinordnung der Projektionsdaten 2024 im Sektor Verkehr

100 Der in den Projektionsdaten 2024 modellierte Rückgang der THG-Emissionen um 23 % innerhalb der nächsten 6 Jahre scheint eher unwahrscheinlich. Aufgrund der möglicherweise überschätzten Entwicklung endogener Parameter, wie z. B. der Neuzulassungen von elektrischen Fahrzeugen wird es für wahrscheinlich gehalten, dass die THG-Emissionen weniger stark zurückgehen als projiziert. Der

[51] Aktuell sinken die Neuzulassungen der BEV. So lag der Anteil im Zeitraum von Januar bis März 2024 bei 12 % und sank gegenüber demselben Zeitraum des Vorjahres um 2 % (KBA 2024c). Der Wegfall der Kaufprämie könnte zu einem Rückgang bei den Neuzulassungen von BEV geführt haben. Weiter führen aktuelle Debatten bezüglich der Wirtschaftlichkeit von BEV und Signalwirkungen wie der Ausstieg des Autovermieter Hertz aus der E-Mobilität zu Verunsicherung (Tagesschau 2024). Verunsicherung herrscht teilweise auch bei der Preisgestaltung. Preise variieren zum Teil stark zwischen Anbietern, Art des Ladens, Paketen und Regionen (Hildebrand 2024).

[52] Im Jahr 2023 wurden lediglich knapp 2 100 E-Lkw neu zugelassen. Laut Projektionsdaten 2024 soll es jedoch innerhalb von zwei Jahren zu einer Verachtfachung der Neuzulassungen kommen (Prognos und ifeu 2024). Der Anteil an E-Lkw an den Neuzulassungen im Jahr 2025 soll entsprechend der Projektionsdaten 2024 bei 19 % liegen. In Anbetracht der aktuellen Ladeinfrastruktur für E-Lkw und den aktuellen Neuzulassungen scheint der Verlauf kurzfristig äußerst ambitioniert. Mittel- bis langfristig ist die Entwicklung nicht ausgeschlossen, da die Haltedauer im Vergleich zu Pkw deutlich niedriger ist und sich entsprechend Technologien schnell durchsetzen können.

[53] Eine aktuelle Umfrage deutet auf eine gesunkene Akzeptanz von batterieelektrischen Fahrzeugen (BEV) hin (acatech 2024). Der Anteil der Befragten, die ein BEV in Erwägung ziehen würden, sank von 24 % im Jahr 2021 auf 17 % im Jahr 2024. Hauptgründe hierfür sind insbesondere Bedenken bezüglich des Anschaffungspreises, der Reichweite, der Umweltwirkung und der Ladeinfrastruktur.

[54] Unter der Annahme sonst gleicher Rahmenbedingungen wie z.B. Fahrleistung, Höhe des Bestands.



Expertentat geht davon aus, dass der 50/50-Emissionspfad für den Sektor Verkehr somit über dem in den Projektionsdaten 2024 projizierten Emissionspfad des Sektors liegt.

3.3.3.4 Landwirtschaft

Entwicklung der THG-Emissionen

101 Im Landwirtschaftssektor würden gemäß der Projektionsdaten 2024 die THG-Emissionen von 62 Mt CO_2-Äq. im Jahr 2021 auf 57 Mt CO_2-Äq. im Jahr 2030 sinken. Das entspräche einem Rückgang um 8 %. Für den Zeitraum 2021-2030 ergibt sich laut Bundes-Klimaschutzgesetz kumuliert ein THG-Budget von 624 Mt CO_2-Äq. Im Zeitraum 2021-2030 würden laut Projektionsdaten 2024 THG-Emissionen in Höhe von 595 Mt CO_2-Äq. anfallen. Dies würde mit einer Unterschreitung des THG-Budgets um 29 Mt CO_2-Äq einhergehen. Methodenänderungen[55] ab dem Jahr 2021 führten dazu, dass rückblickend auf das Jahr 2020 die THG-Emissionen rechnerisch um rund 2,4 Mt CO_2-Äq. pro Jahr niedriger abgeschätzt wurden (schriftliche Antwort des Forschungskonsortiums im Rahmen der Prüfung). Es kam jedoch nicht zu einer Änderung der Jahresemissionsziele im Bundes-Klimaschutzgesetz (Anlage 2a KSG). Ohne diese Methodenänderungen würde der Puffer im Zeitraum 2021-2030 mit 5 Mt CO_2-Äq. deutlich geringer ausfallen[56] (Abbildung 11).

Einordnung des methodischen Vorgehens

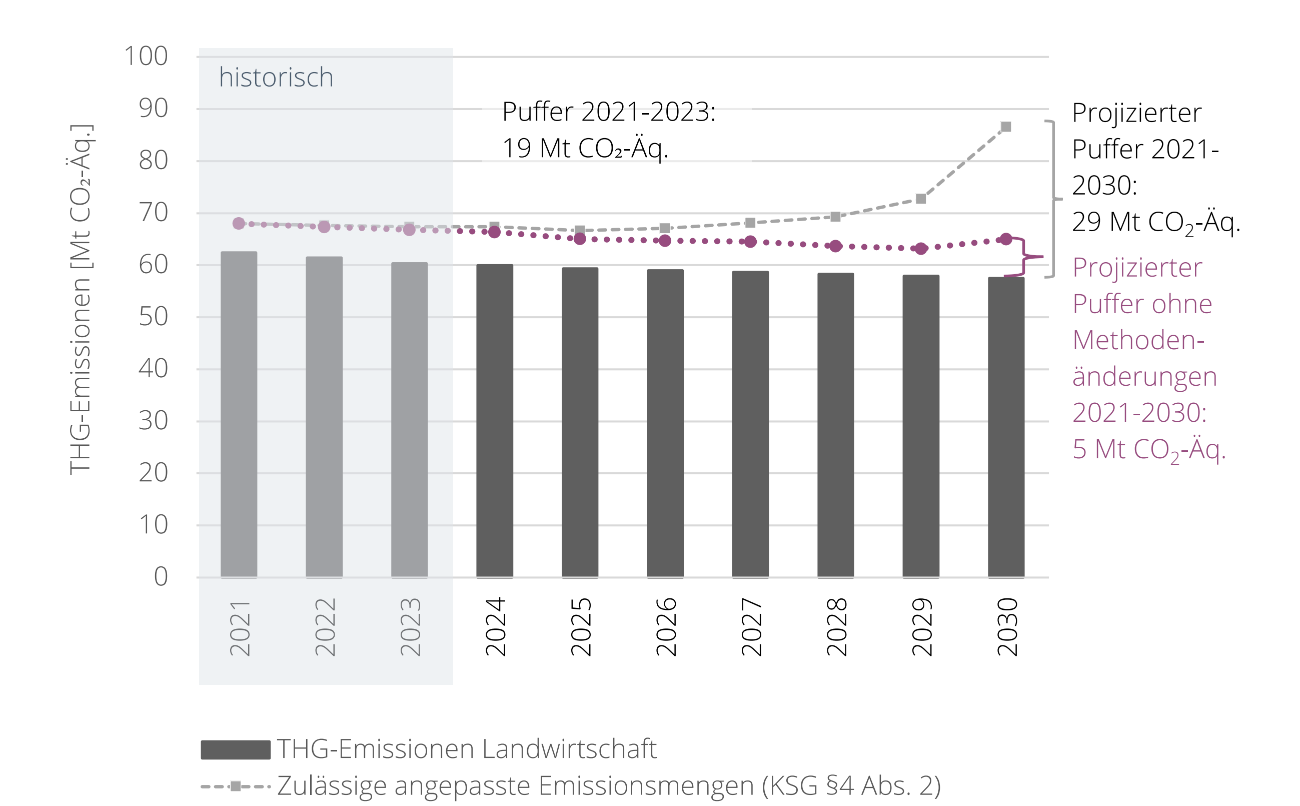
102 Die übermittelten Unterlagen sowie der Austauschtermin mit dem Konsortium führten zu dem Ergebnis, dass die Methode in den Grundzügen nachvollzogen werden konnte. Die Modellierung der nicht-energiebedingten THG-Emissionen in der Landwirtschaft erfolgt im Landwirtschaftlichen Emissions-Inventar-Modell (Py-Gas-EM). Die Maßnahmenwirkung wird quantifiziert, indem sie schrittweise in die Berechnung einbezogen wird (Öko-Institut et al. 2023). Die Annahmen zu Entwicklungen bis zum Jahr 2030 stammen aus der aktuellen Thünen-Baseline (Haß et al. 2022). Ab dem Jahr 2030 werden überwiegend statistische Fortschreibungen durchgeführt (schriftliche Antwort des Forschungskonsortiums im Rahmen der Prüfung). Die Modellierung der energiebedingten THG-Emissionen in der Landwirtschaft erfolgt in einem einfachen Excel-Modell (Thünen-Institut 2024).

103 Die Inputdaten und Annahmen im Modell Py-Gas-EM sind ausführlich dokumentiert. Das verwendete Modell ist intern konsistent.

[55] Im Sektor Landwirtschaft kam es im Berichtsjahr 2021 zu Aktualisierungen von Methoden bei der Berechnung der direkten Lachgasemissionen aus landwirtschaftlich genutzten Böden (Mathivanan et al. 2021), bei der Berechnung der indirekten THG-Emissionen aus Stickstoffauswaschung und durch geänderte Dieselmengen (schriftliche Antwort des Thünen-Instituts im Rahmen der Prüfung). Des Weiteren wurden die Treibhausgaspotentiale für NH_3 und CH_4 aktualisiert.

[56] Addiert man die 2,4 Mt CO_2-Äq. zu den jährlichen THG-Emissionen und schreibt die Zeitreihe gemäß Ausgleichsmechanismus fort, sinkt der Puffer des Zeitraums 2021-2030 auf 5 Mt CO_2-Äq (Rechnung basierend auf schriftlicher Antwort des Thünen-Instituts im Rahmen der Prüfung). Damit würde das Ziel auch ohne die vergangenen Methodenänderungen erreicht werden. Die Methodenänderungen tragen aber 83 % zu den Minderungen bei.

Abbildung 11: Entwicklung der historischen und projizierten THG-Emissionen im Sektor Landwirtschaft



Eigene Darstellung basierend auf UBA (2024b), UBA (2024e) und ERK (2024a). Zulässige Jahresemissionsmenge für die Jahre 2024 bis 2030 neu berechnet gemäß des Ausgleichsmechanismus nach ERK (2024a). Angepasster KSG-Zielpfad ohne Methodenänderungen berechnet basierend auf der Summe der vergangenen Methodenänderungen (schriftliche Antwort des Thünen-Instituts vom im Rahmen der Prüfung).



Einordnung der Annahmen

104 Tabelle 6 zeigt zusammenfassend die Einordnung wesentlicher Annahmen der Projektionsdaten 2024 im Sektor Landwirtschaft.

Tabelle 6: Einordnung wesentlicher Annahmen und Ergebnisse der Projektionsdaten 2024 im Sektor Landwirtschaft

Aspekt	Annahme in den Projektionsdaten 2024	Einordnung	Gemäß Einordnung wäre zu erwarten, dass die THG-Emissionen [...] liegen als in den Projektionsdaten 2024 angenommen
Kriterium: Modellexogene Rahmendaten und sonstige Parameter			
Rinder- und Schweinebestand	• Konservative Fortschreibung der sinkenden Trends	• Unsicher, wie weit die Tierbestände reduziert werden	⇕ ...nicht eindeutig höher oder niedriger...
Stickstoffdünger-einsatz	• Anstieg des Stickstoffdüngereinsatzes bis 2030, anschließend leichtes Absinken.	• Derzeit historisch niedriger Stickstoffdüngereinsatz wegen hoher Preise • Projizierter Anstieg und anschließender Abfall unsicher	⇕ ...nicht eindeutig höher oder niedriger...
Ökolandbau	• Ausbau des Ökolandbaus von 10 auf 15 % der landwirtschaftlich genutzten Fläche	• Anstieg des Flächenanteils für Ökolandbau auf 15 % denkbar	⇕ ...nicht eindeutig höher oder niedriger...
Kriterium: Modellendogene Rahmendaten und sonstige Parameter			
Keine Angabe			
Kriterium: Instrumentenausgestaltung und -finanzierung			
Energieverbrauch für stationäre und mobile Feuerung	• Sinken des Energie-verbrauchs bis 2030	• Reduzierung möglicherweise überschätzt wegen Kürzung im KTF um 19 %	⇧ ... höher...
Kriterium: Implizite Annahmen und Umsetzungsvoraussetzungen			
Politische Rahmen-bedingungen (EU und Deutschland)	• Politische Rahmenbedingungen sind stabil	• Überarbeitung von Gesetzen • Teils rückwirkende Aufweichung von bestehenden Regelungen	⇕ ...nicht eindeutig höher oder niedriger...
Umwelt-bedingungen	• Stabile klimatische Bedingungen	• Extremwetterereignisse nicht berücksichtigt • Witterungsbedingte Variabilität nicht berücksichtigt	⇕ ...nicht eindeutig höher oder niedriger...

Eigene Darstellung.

105 Es gibt keinen Hinweis darauf, dass die Projektionsdaten 2024 im Vergleich zu einem hypothetischen 50/50-Emissionspfad deutlich über- oder unterschätzt sind. Allerdings gibt es mehrere Aspekte, die zu Unsicherheiten in den Annahmen führen. Daher könnten die THG-Emissionen sowohl niedriger als auch höher ausfallen. Die Projektionsdaten 2024 decken alle wesentlichen politischen Maßnahmen im Sektor Landwirtschaft ab.

106 Die Projektionen der Tierzahlen (Abbildung A 15 im Anhang) und des Stickstoffdüngereinsatzes (Abbildung A 16 im Anhang) wurden zwar konservativ durchgeführt, um die Minderungswirkung nicht zu überschätzen. Die Projektionen sind jedoch mit Unsicherheiten behaftet. So gibt es keine direkten politischen Maßnahmen oder Ziele zur Reduzierung der Tierzahlen. Dazu kommen Unsicherheiten über zukünftige Ernährungsgewohnheiten, Export- und Importpreise, Subventionierungen und Seuchen, die den Emissionspfad beeinflussen können. Der Stickstoffdüngereinsatz könnte höher ausfallen, da der EU-ETS-Preis tendenziell zu hoch angesetzt ist (siehe Kapitel 3.3.1). Zudem könnte die noch nicht berücksichtige Lockerung der Regelung zu Brachflächen (Kommission 2024) zu höherem Düngereinsatz führen, als projiziert. Des Weiteren könnten die derzeitigen Diskussionen auf EU-Ebene zu Vorgaben in der Landwirtschaft dazu führen, dass die Nitratrichtlinie gelockert und wieder mehr Dünger auf den landwirtschaftlich genutzten Flächen zugelassen wird (Michel 2024). Die Projektion des Ökolandbaus wird als realistisch eingeschätzt. Für Maßnahmen zur Förderung einer Reduktion des Energieverbrauchs in der Landwirtschaft wurde die Finanzierung im KTF um 19 % reduziert (BMF 2024), was zu höheren THG-Emissionen führen könnte. Auch die Lockerung der Regelung für Brachflächen (Kommission 2024) könnte die unproduktive Fläche weniger stark ansteigen lassen als bisher projiziert.

107 Die Modellierung geht von einem Ansatz aus, der politische und klimatische Bedingungen als stabil ansetzt. In der Realität haben jedoch die Variabilitäten in der Witterung und im Klima Auswirkungen auf Düngerbedarf, Ernte und Tierbestände.

Gesamteinordnung der Projektionsdaten 2024 im Sektor Landwirtschaft

108 Der in den Projektionsdaten 2024 modellierte Rückgang der THG-Emissionen um 8 % innerhalb der nächsten 6 Jahre scheint ebenso wahrscheinlich überschätzt wie unterschätzt. Wegen der Unsicherheiten in den Annahmen könnten die THG-Emissionen geringfügig niedriger oder höher ausfallen als projiziert. Der Expertenrat geht davon aus, dass sich der 50/50-Emissionspfad für den Sektor Landwirtschaft somit mit dem in den Projektionsdaten 2024 projizierten Emissionspfad des Sektors deckt.

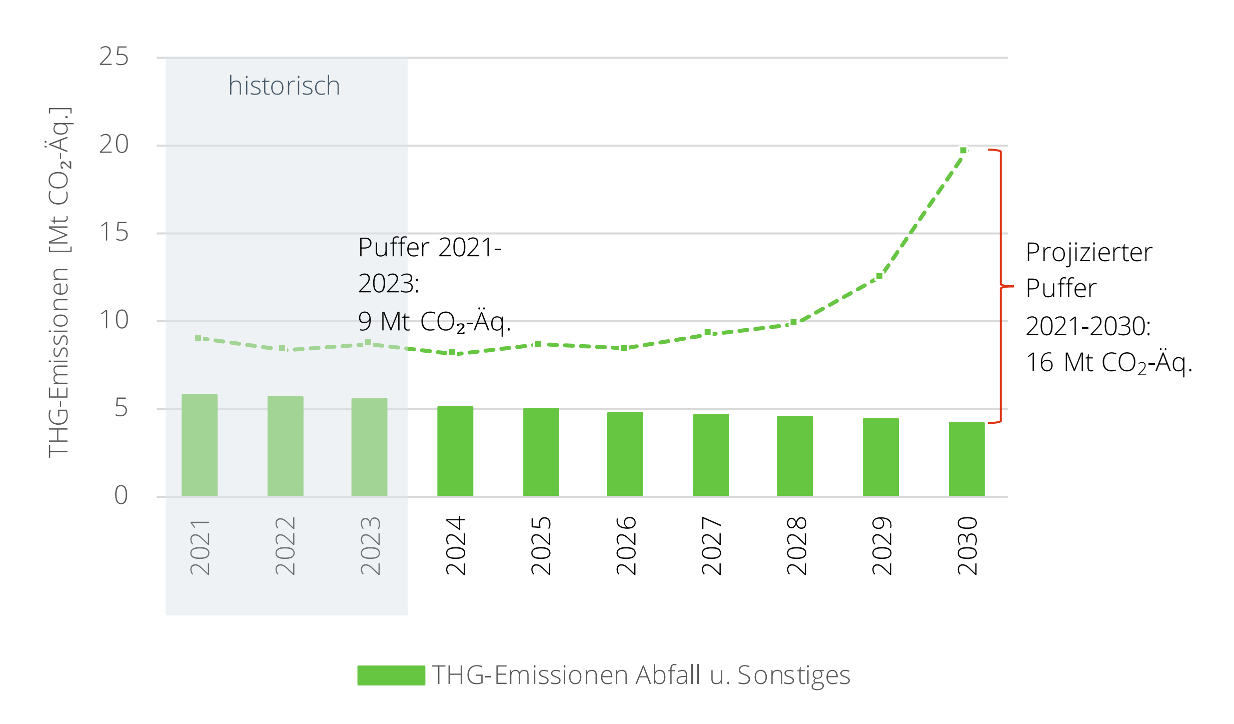
3.3.3.5 Abfallwirtschaft und Sonstiges

109 Im Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges würden die THG-Emissionen laut Projektionsdaten 2024 von 5,8 Mt CO_2-Äq. im Jahr 2021 auf 4,2 Mt CO_2-Äq. im Jahr 2030 sinken, also um 38 %. Für den Zeitraum 2021-2030 ergibt sich laut Bundes-Klimaschutzgesetz kumuliert ein THG-Budget von 65 Mt CO_2-Äq. Im Zeitraum 2021-2030 würden laut Projektionsdaten 2024 THG-Emissionen in Höhe von 49 Mt CO_2-Äq. anfallen. Dies würde mit einer Unterschreitung des THG-Budgets um 16 Mt CO_2-Äq. einhergehen (siehe Abbildung 12). Durch methodische Anpassungen bei der Datengrundlage und der Berechnungsmethode kam es im Sektor zu Änderungen der gesamten Zeitreihe. Maßgeblich für die Entwicklung der THG-Emissionen, und damit die Etablierung des Puffers, war die Aktualisierung der Treibhausgaspotenziale für N_2O und CH_4. Eine Quantifizierung der Auswirkung der Methodenänderungen auf die THG-Emissionen ist schwierig und wurde bisher nicht durchgeführt (schriftliche Antwort des Forschungskonsortiums im Rahmen der Prüfung). In Folge der



Methodenänderungen wurden die Jahresemissionsziele im Bundes-Klimaschutzgesetz (Anlage 2 KSG) nicht angepasst.

Abbildung 12: Entwicklung der historischen und projizierten THG-Emissionen im Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges



Eigene Darstellung basierend auf UBA (2024b), UBA (2024e) und ERK (2024a). Zulässige Jahresemissionsmenge für die Jahre 2024 bis 2030 neu berechnet gemäß des Ausgleichsmechanismus nach ERK (2024a).

Einordnung des methodischen Vorgehens

110 Die übermittelten Unterlagen sowie der Austauschtermin mit dem Konsortium führten zu dem Ergebnis, dass die Methode in den Grundzügen nachvollzogen werden konnte. Die THG-Emissionen im Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges werden mit dem modularen Abfallmodell Waste_Mod des Öko-Instituts modelliert (Öko-Institut et al. 2023). In den Modulen werden die THG-Emissionen aus Deponien, biologischer Abfallbehandlung, sowie aus kommunaler und industrieller Abwasserbehandlung berechnet (Öko-Institut et al. 2023). Die Minderungswirkungen von Maßnahmen werden in den entsprechenden Modulen berücksichtigt.

111 Das Modell ist u. a. in Öko-Institut et al. (2023) ansatzweise dokumentiert. Auch im Rahmen der Treibhausgasinventarberichterstattung kommt das Modell Waste_Mod zum Einsatz. Maßnahmen werden im Modell abgebildet. Aus Zeitgründen konnte das Modell vom Expertenrat nicht geprüft werden. Die interne Konsistenz kann daher nicht beurteilt werden.

Einordnung der Annahmen

112 Tabelle 7 zeigt zusammenfassend die Einordnung wesentlicher Annahmen der Projektionsdaten 2024 im Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges.



Tabelle 7: Einordnung wesentlicher Annahmen und Ergebnisse der Projektionsdaten 2024 im Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges

Aspekt	Annahme in den Projektionsdaten 2024	Einordnung	Gemäß Einordnung wäre zu erwarten, dass die THG-Emissionen […] liegen als in den Projektionsdaten 2024 angenommen
Kriterium: Modellexogene Rahmendaten und sonstige Parameter			
Bevölkerungsentwicklung	• Siehe Kapitel 3.3.1	• Siehe Kapitel 3.3.1	⇧ …höher
Reduktion der Lebensmittel-verschwendung	• Wirkung kleiner als in der Strategie zur Reduzierung der Lebensmittelverschwen-dung angestrebt	• Umfang der nötigen Verhaltensänderung unklar • Reduzierter Produktionsbedarf könnte Einfluss auf andere Sektoren entlang der Produktionskette haben	⇕ …nicht eindeutig höher oder niedriger…
Abfallstatistik	• Auswahl des Startjahrs 2022	• Schwankungen in den Zeitreihen, teils gegenläufig zur Bevölkerungsentwicklung	⇕ …nicht eindeutig höher oder niedriger…
Kriterium: Modellendogene Rahmendaten und sonstige Parameter			
Keine Angabe			
Kriterium: Instrumentenausgestaltung und -finanzierung			
Förderung von Klimafreundlicher Abwasserbehandlung	• Erstmalige quantitative Bewertung	• Kumuliert -0,1 Mt CO_2-Äq. zwischen 2023 und 2030 (schriftliche Antwort des Forschungskonsortiums im Rahmen der Prüfung)	⇕ …nicht eindeutig höher oder niedriger…
Kriterium: Implizite Annahmen und Umsetzungsvoraussetzungen			
Keine Angabe			

Eigene Darstellung.

113 Die Prüfung der Annahmen bietet keinen Hinweis darauf, dass die Projektionsdaten 2024 im Vergleich zu einem hypothetischen 50/50-Emissionspfad deutlich über- oder unterschätzt sind. Die Projektionsdaten 2024 decken alle wesentlichen klimapolitischen Maßnahmen im Sektor Abfall und Sonstiges ab. Allerdings sind die Annahmen mit Unsicherheiten behaftet. Die THG-Emissionen könnten daher höher (Unterschätzung des projizierten Emissionspfads) oder niedriger (Überschätzung des projizierten Emissionspfads) ausfallen als in den Projektionsdaten 2024 ausgewiesen. Folgende Aspekte tragen zur Unsicherheit bei: Während die Bevölkerungszahl im Jahr 2022 anstieg, sank die Gesamtmenge an Haushaltsabfällen (Destatis 2024b). Es ist unsicher, ob diese Entwicklungen im Modell korrekt abgebildet werden. Des Weiteren liegt die Abfallstatistik immer erst rund 18 Monate nach dem Ende des betrachteten Jahres vor (UBA 2024d; Destatis 2024b). In den letzten fünf Jahren schwankten



die darin berichteten Mengen und Anteile der Haushaltsabfälle, die für die biologische Abfallbehandlung relevant sind, deutlich (Destatis 2024b). Da die resultierenden THG-Emissionen rund 15 % der THG-Emissionen des Sektors ausmachen, könnte die Wahl des Startjahres 2022 den projizierten THG-Emissionspfad beeinflussen. Aus Zeitgründen ließ sich die Wirkung durch den Expertenrat nicht abschätzen. Weitere Unsicherheiten ergeben sich durch die projizierte Reduktion der Lebensmittelverschwendung. Diese hängt stark von einer Verhaltensänderung in der Gesellschaft ab. Daher sind sowohl geringere als auch höhere Einsparungen denkbar. Allerdings werden auf Ebene der Länder und Kommunen Maßnahmen zur Reduktion der Lebensmittelverschwendung gefördert (schriftliche Antwort des Forschungskonsortiums im Rahmen der Prüfung). Mögliche Abweichungen werden daher als gering eingeschätzt. Ein möglicher resultierender Rückgang der Lebensmittelproduktion könnte auch emissionsmindernd in anderen Sektoren entlang der Produktionskette (LULUCF, Landwirtschaft und Verkehr) wirken. Erstmalig wurde die Maßnahmenwirkung der Förderung von klimafreundlicher Abwasserbehandlung basierend auf Daten der Nationalen Klimaschutzinitiative quantifiziert (schriftliche Antwort des Forschungskonsortiums im Rahmen der Prüfung). Die Maßnahmenwirkung ist gering und wird als unsicher eingeschätzt.

Gesamteinordnung der Projektionsdaten 2024 im Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges

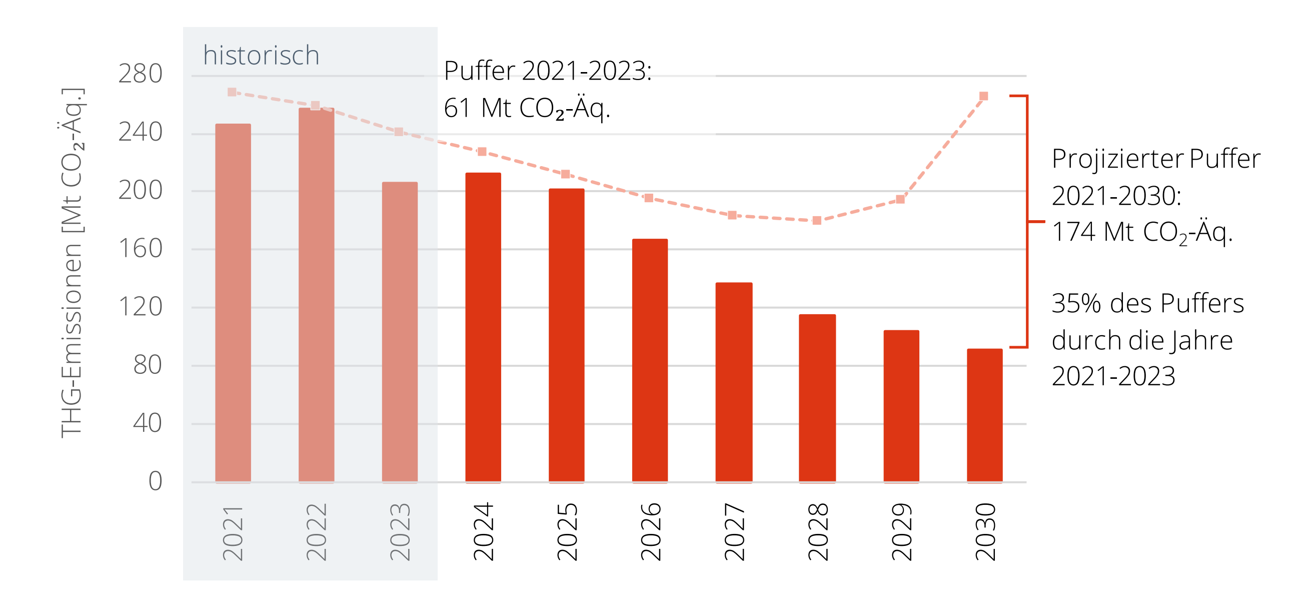
114 Der in den Projektionsdaten 2024 modellierte Rückgang der THG-Emissionen um 38 % innerhalb der nächsten 6 Jahre scheint ebenso wahrscheinlich überschätzt wie unterschätzt. Bisher sind keine weiteren Methodenänderungen geplant, die sich rechnerisch emissionsmindernd oder -erhöhend auswirken würden (schriftliche Antwort des Forschungskonsortiums im Rahmen der Prüfung). Der Expertenrat geht davon aus, dass sich der 50/50-Emissionspfad für den Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges somit mit dem in den Projektionsdaten 2024 projizierten Emissionspfad des Sektors deckt. Eine detaillierte Prüfung des Modells Waste_Mod hat der Expertenrat für Klimafragen nicht durchgeführt.

3.3.3.6 Energiewirtschaft

Entwicklung der THG-Emissionen

115 Im Sektor Energiewirtschaft würden die THG-Emissionen laut Projektionsdaten 2024 von 246 Mt CO_2- Äq. im Jahr 2021 auf 92 Mt CO_2-Äq. im Jahr 2030 sinken, also um rund 63 %. Für den Zeitraum 2021-2030 ergibt sich laut Bundes-Klimaschutzgesetz kumuliert ein THG-Budget von 1 911 Mt CO_2-Äq. Im Zeitraum 2021-2030 fielen jedoch laut Projektionsdaten 2024 THG-Emissionen nur in Höhe von 1 737 Mt CO_2-Äq. an. Dies würde mit einer Unterschreitung des THG-Budgets um 174 Mt CO_2-Äq. einhergehen (siehe Abbildung 13).

Abbildung 13: Entwicklung der historischen und projizierten THG-Emissionen im Sektor Energiewirtschaft



Eigene Darstellung basierend auf UBA (2024b), UBA (2024e) und ERK (2024a). Zulässige Jahresemissionsmenge für die Jahre 2024 bis 2030 neu berechnet gemäß des Ausgleichsmechanismus nach ERK (2024a).

Einordnung des methodischen Vorgehens

116 Die THG-Emissionen im Sektor Energiewirtschaft werden mit dem Modell PowerFlex des Öko-Instituts modelliert.[57] Dieses europäische Energiesystemmodell berechnet den Kraftwerkseinsatz (Dispatch-Modell), nicht jedoch die Investitionsentscheidungen in Kraftwerks- und Flexibilitätstechnologien. Kapazitäten werden nicht endogen zu- oder abgebaut, sondern basieren auf exogenen Ausbau- bzw. Rückbaupfaden. Auch die Energienachfrage der Verbrauchssektoren wird im Modell als exogen behandelt. Zudem wird in der Modellierung das gesamte Netz je Land als eine Kupferplatte betrachtet, sodass keine Netzengpasssituationen und damit einhergehend beispielsweise auch keine Abschaltung von Anlagen zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energieträgern („Curtailment") berücksichtigt werden.

117 Die übermittelten Unterlagen sowie der Austauschtermin mit dem Konsortium führten zu dem Ergebnis, dass die Methode in den Grundzügen nachvollzogen werden konnte. Bis auf die Verwendung exogener Kraftwerkszubauten gibt es keine Hinweise auf interne Inkonsistenzen des Modells. Hervorzuheben ist, dass die Ergebnisse des Modells stark von exogenen Annahmen getrieben sind: Kapazitäten und deren Entwicklungen, Energienachfragen, sowie Preisannahmen für Brennstoffe und CO_2. Im Modellverbund kommt es zu Inkonsistenz beispielsweise mit Blick auf die Vernachlässigung der Kopplung von Strompreisen mit den Stromverbrauchsentscheidungen.

57 Für eine detaillierte Modellbeschreibung siehe Hermann et al. (2017).



Einordnung der Annahmen

118 Tabelle 8 zeigt zusammenfassend die Einordnung wesentlicher Annahmen und Ergebnisse der Projektionsdaten 2024 im Sektor Energiewirtschaft.

Tabelle 8: Einordnung wesentlicher Annahmen und Ergebnisse der Projektionsdaten 2024 im Sektor Energiewirtschaft

Aspekt	Annahme in den Projektionsdaten 2024	Einordnung	Gemäß Einordnung wäre zu erwarten, dass die THG-Emissionen […] liegen als in den Projektionsdaten 2024 angenommen
Kriterium: Modellexogene Rahmendaten und sonstige Parameter			
EU-ETS-Preis	• Siehe Tabelle 1	• Siehe Tabelle 1 • Grenzkosten von Kohle in der Tendenz überschätzt • In der Tendenz ist eine höhere Kohleverstromung zu erwarten	⇧ … höher …
Gas-Kohle-Spread	• Siehe Annahmen zu Brennstoffpreisen in Tabelle 1 • Die Verstromung von Erdgas ist ab dem Jahr 2026 günstiger als die Kohleverstromung	• Durch den zu hoch angenommen EU-ETS-Preis wird die Verstromung von Kohle tendenziell unterschätzt • Geringerer Gaspreis als angenommen führt tendenziell dazu, dass ein Fuel-switch stattfindet • Durch geringere Gaspreise und einen niedrigeren EU-ETS-Preis kann der Fuel-switch ausbleiben; starke Abhängigkeit vom EU-ETS-Preis	⇳ …nicht eindeutig höher oder niedriger…
Kohlestill-legungspfad	• Parametrisierung erfolgt gemäß Anlage 2 KVBG und der Wirtschaftlichkeit der Kohlekraftwerke • Installierte Leistung Kohle beträgt marktbedingt 5 GW im Jahr 2030	• Marktbedingter Kohleausstieg stark abhängig vom Gas-Kohle-Spread • Verlängerung der Braunkohlekraftwerke als strategische Reserve bei mangelndem Ausbau anderer Back-up Kapazitäten möglich	⇧ … höher …
Nationale Wasserstoff-strategie	• Zielmarke der nationalen Wasserstoffstrategie von 10 GW Elektrolyseleistung bis zum Jahr 2030	• Verzögerungen möglich, da sich erst 12,5 GW Elektrolysekapazitäten in Planung befinden (siehe Kapitel 3.3.1)	⇧ … höher …
Ausbaupfade	• PV: Ausbauziel des EEG von 215 GW wird erreicht • Wind auf See: Ausbauziel von 30 GW nach Wind auf See Gesetz wird mit 31,3 GW übertroffen	• PV- und Wind an Land-Ausbau insbesondere durch Brutto-Zubau ambitioniert • Zielerreichung für Wind auf See durch mögliche Verzögerungen der Netzanbindung sehr ambitioniert	⇧ … höher …

Aspekt	Annahme in den Projektionsdaten 2024	Einordnung	Gemäß Einordnung wäre zu erwarten, dass die THG-Emissionen [...] liegen als in den Projektionsdaten 2024 angenommen
	• Wind an Land: EEG-Ausbauziel von 115 GW wird mit 94,5 GW im Jahr 2030 nicht erreicht		
Nachfrage	• Stromverbrauch über den betrachteten Zeitraum ansteigend • Bruttostromverbrauch 2024: 543,1 TWh; 2030: 704,1 TWh	• Stromverbrauch in Industrie- und Verkehrssektor tendenziell überschätzt	⇩ ... niedriger ...
Kriterium: Modellendogene Rahmendaten und sonstige Parameter			
Import/Export	• Für die Jahre 2024 und 2026 bis 2030 ist Deutschland Nettostromimporteur	• Die Stromimport- und exportmengen hängen stark von den exogenen Annahmen ab • Bei veränderten Rahmendaten, könnte deutlich weniger Strom importiert werden	⇧ ... höher ...
Kriterium: Instrumentenausgestaltung und -finanzierung			
Kosten EEG	• Implizite Annahme, dass Kosten des EEG vollständig vom Staat getragen werden	• Sollten sich die Futurepreise für Strom realisieren, erhöht sich der Finanzierungsbedarf • Es besteht die Gefahr, dass das EEG-Konto nicht das ganze Jahr über ausgeglichen bleibt	⇧ ... höher ...
Kriterium: Implizite Annahmen und Umsetzungsvoraussetzungen			
Infrastruktur	• Grenzkuppelstellen werden gemäß dem TYNDP parametrisiert • Ausbau des Übertragungs- und Verteilnetzes wird nicht berücksichtigt • Weder das Erdgasnetz noch das Wasserstoffnetz werden modelliert	• Verzögerungen bei dem Infrastrukturausbau werden nicht modelliert • Keine Berücksichtigung von Netzengpasssituationen	⇧ ... höher ...

Eigene Darstellung.

119 Im Folgenden werden Faktoren aufgeführt, für die Hinweise bestehen, dass die THG-Emissionen höher (Unterschätzung des projizierten Emissionspfads) oder niedriger (Überschätzung des projizierten Emissionspfads) ausfallen könnten als in den Projektionsdaten 2024 ausgewiesen.

120 Die Prüfung der exogenen Annahmen sowie der Modellergebnisse bietet etliche Hinweise auf eine Unterschätzung des projizierten Emissionspfads.



i) Entscheidend für die Höhe der THG-Emissionen ist der Gas-Kohle-Spread[58], der darüber bestimmt, wie wettbewerbsfähig Kohlekraftwerke im Strommix bleiben. In den Rahmendaten wird ein sinkender Gas-Kohle-Spread (vor EU-ETS-Preis) angenommen. Allerdings decken sich die aktuellen Entwicklungen nicht mit den Annahmen; Gas- und EU-ETS-Preise sind tendenziell überschätzt (siehe Kapitel 3.3.1). Beide Preispfade der Sensitivitäten stimmen besser mit den aktuellen Erdgas-Futures und EU-ETS-Preisen überein als mit den Annahmen im MMS. Eine gekoppelte Sensitivität beider Parameter wurde nicht gerechnet, daher wird der Gesamteffekt auf die THG-Emissionen nicht vollständig abgebildet.[59] Bei einem geringeren Gaspreis und einem weniger stark ansteigendem EU-ETS-Preis, würden Kohlekraftwerke häufiger wettbewerbsfähig bleiben. Abbildung A 18 im Anhang zeigt, dass insbesondere die Grenzkosten der Braunkohlekraftwerke deutlich unter den Grenzkosten von Gaskraftwerken liegen würden, der Fuel-Switch würde erst nach dem Jahr 2030 erfolgen und nicht bereits im Jahr 2026 wie im MMS.

ii) Neben den Preisentwicklungen steht der Kohleausstieg auch in Verbindung mit dem Ausbau von Back-up Kapazitäten. Die installierte Leistung von Erdgas steigt in den Projektionsdaten 2024 von 32,3 GW im Jahr 2024 auf 34,1 GW im Jahr 2030 nur leicht an.[60] Der Ausbau der Wasserstoffkraftwerke im Rahmen der Kraftwerksstrategie[61] wird nicht im MMS berücksichtigt. Bei einer zu geringen Verfügbarkeit von Back-up Kapazitäten, ist eine Verlängerung der Kohleverstromung und damit ein Anstieg der THG-Emissionen möglich.

iii) Die Ausbaupfade der erneuerbaren Energieträger scheinen sehr optimistisch zu sein und führen tendenziell zu einer Unterschätzung der THG-Emissionen (siehe Abbildung A 19, Abbildung A 20 und Abbildung A 21 im Anhang). Zusätzlich zu teils sehr hohen jährlichen Nettozubauraten, ist für Wind an Land und Photovoltaik (PV) schon in den nächsten Jahren ein substanzieller Rückbau zu berücksichtigen, getrieben durch das Alter und das Auslaufen der EEG-Förderung vieler Anlagen, der durch einen entsprechend deutlich über dem Nettozubau liegenden Bruttozubau ausgeglichen werden müsste. Weitere Unsicherheiten bestehen hinsichtlich der Finanzierung von EE-Anlagen, da aktuelle Zahlen darauf hinweisen, dass das EEG-Konto möglicherweise nicht dauerhaft vom Staat ausgeglichen werden kann, insbesondere bei Durchsetzung der formulierten Ausbauziele.

iv) Für die Jahre 2024 und 2026 bis 2030 wäre Deutschland laut den Modellierungsergebnissen Nettostromimporteur (siehe Abbildung A 24 im Anhang). Aufgrund des Territorialprinzips reduziert dieser Effekt die THG-Emissionen, die in Deutschland bilanziert werden. Die Höhe der Stromimporte hängt von den Entwicklungen der europäischen Nachbarländer, wie beispielsweise der Verfügbarkeit von erneuerbaren Energieträgern und Kernenergie ab. Laut Prognos und ifeu (2024) wären die THG-

[58] Der Gas-Kohle-Spread entspricht der Differenz der Grenzkosten für die Stromerzeugung aus Erdgas und Kohle. Dies beinhaltet je Kraftwerkstyp Annahmen bezüglich der Brennstoffpreise, Wirkungsgrade, den Emissionsfaktoren, Kosten für CO_2-Emissionen und sonstigen variablen Kosten.

[59] Ein niedrigerer EU-ETS-Preis würde laut Sensitivitätsanalyse der Projektionsdaten 2024 kumuliert über den Zeitraum 2024 – 2030 zu ca. 220 Mt CO_2-Äq. höheren THG-Emissionen in der Energiewirtschaft führen. Eine Veränderung der Brennstoffpreise würde laut einer weiteren Sensitivitätsanalyse kumuliert über den Zeitraum 2024 – 2030 einen um ca. 94 Mt CO_2-Äq. geringeren Emissionspfad in der Energiewirtschaft ausweisen (siehe Tabelle 1).

[60] Der Stromerzeugungsmix ist in Abbildung A 23 im Anhang dargestellt.

[61] Die angekündigte Kraftwerksstrategie beinhaltet Kraftwerksausschreibungen mit einer Kapazität von bis zu 15 GW. Die Anlagen sollen spätestens bis zum Jahr 2035 auf Wasserstoff umgestellt werden. In den Jahren 2024 bis 2026 sollen 10 GW (davon 6 GW Neubau) ausgeschrieben werden, mit einer möglichen Ausschreibung der verbleibenden 5 GW nach einer Evaluierungsphase ab dem Jahr 2026 (UBA 2024k).

Emissionen in Deutschland um ca. 40-45 Mt CO_2-Äq. höher, wenn die Importe durch Strom aus Gaskraftwerken in Deutschland ersetzt werden würden.

v) Zudem gibt es größere Unsicherheiten hinsichtlich der Umsetzungsvoraussetzungen. Es wird in den Projektionsdaten 2024 implizit angenommen, dass das Stromnetz ausreichend ausgebaut wird. In der Realität wird Redispatch durchgeführt, um Netzengpässe zu vermeiden. Dafür werden EE-Anlagen abgeregelt (siehe Abbildung A 22 im Anhang). Um die abgeregelte Strommenge zu ersetzen, könnten in dem Zeitraum 2024 bis 2030 Mehremissionen von mindestens 24 Mt CO_2-Äq. entstehen. Die tatsächliche Emissionsmenge könnte noch deutlich höher liegen, da einige Studien wie EWI und Group (2023) und Schmidt und Zinke (2020) deutlich höhere Mengen an Abregelung der erneuerbaren Energieträger ausweisen.[62]

121 Die Prüfung der exogenen Annahmen bietet auch Hinweise auf eine mögliche Überschätzung des projizierten Emissionspfads:

i) Die Stromnachfrage könnte im Modellverbund überschätzt sein. Denn vor allem im Industrie- und Verkehrssektor scheint die Elektrifizierungsgeschwindigkeit in der Tendenz überschätzt worden zu sein (siehe Kapitel 3.3.3.1 und Kapitel 3.3.3.3).

ii) Wesentliche politische Maßnahmen wie das Solarpaket I wurden nicht in den Projektionsdaten 2024 berücksichtigt, wirken sich jedoch in der Tendenz positiv auf die EEG-Zielerreichung aus.

Gesamteinordnung der Projektionsdaten 2024 im Sektor Energiewirtschaft

122 Der in den Projektionsdaten 2024 modellierte Rückgang der THG-Emissionen um 57 % innerhalb der nächsten 6 Jahre scheint eher unwahrscheinlich. Während die Unsicherheiten bei ETS- und Gas-Kohle-Spreads sowie bei geringerer Stromnachfrage und geringerem Ausbau erneuerbarer Energieträger sich jeweils gegenseitig teilweise kompensieren könnten[63], weisen die meisten übrigen Risiken darauf hin, dass die THG-Emissionen weniger stark zurückgehen als projiziert. Der Expertenrat geht davon aus, dass der 50/50-Emissionspfad für den Sektor Energiewirtschaft somit über dem in den Projektionsdaten 2024 projizierten Emissionspfad des Sektors liegt.

3.4 Expertenschätzung und Feststellung zur Zielerreichung

123 Das vorliegende Gutachten des Expertenrats für Klimafragen stellt eine unabhängige, wissenschaftliche Überprüfung der Projektionsdaten 2024 dar. Auf der Grundlage der dargestellten Prüfergebnisse hat der Expertenrat eine Einschätzung vorgenommen, ob ein Emissionspfad, der *ebenso wahrscheinlich* über- wie unterschätzt wird (50/50-Emissionspfad), oberhalb oder unterhalb des projizierten Emissionspfads der Projektionsdaten 2024 liegen würde. Für diese Einschätzung wurden die in diesem Gutachten identifizierten Abweichungen der Projektionsdaten 2024 von einem vermuteten 50/50-Emissionspfad aufgrund des möglichen Einflusses von anzupassenden Rahmenbedingungen, Annahmen und Parametern sektoral betrachtet, überschlägig gewichtet und durch Austausch im Expertenrat durch einstimmigen Beschluss eingeordnet. Das Ergebnis dieser Einordnung zeigt

[62] Die Berechnung basiert auf der abgeregelten Strommenge von erneuerbaren Energieträgern im Jahr 2023 in Höhe von 10 TWh (BNetzA 2023a; 2024b; 2024a; 2023c; 2023b) und der Annahme, dass Gaskraftwerke diese ersetzen. Sollte der Redispatch durch Kohlekraftwerke durchgeführt werden, ergäben sich höhere THG-Emissionen bei gleicher Strommenge.

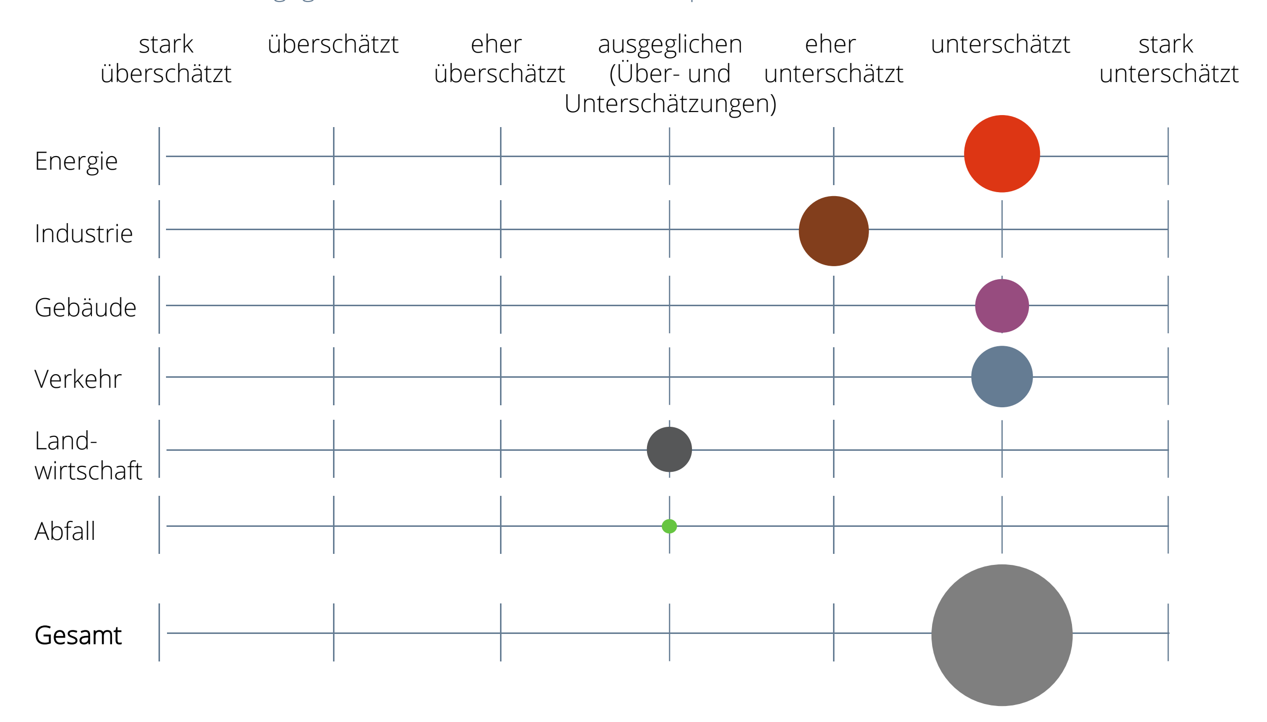
[63] Beispielsweise führt im Jahr 2030 eine 10 % geringere Stromnachfrage und ein 20 % geringerer Ausbau der erneuerbaren Energieträger als in den Projektionsdaten 2024 angenommen zu einem geringfügigen Anstieg der Zusatzstromerzeugung von knapp 5 %. Die Berechnung erfolgte auf Basis einer simulierten Stromerzeugung (Fraunhofer ISE).



Abbildung 14. Eine eigene quantitative Rechnung, um die gefundene qualitative Einschätzung abzustützen, wurde vom Expertenrat im Rahmen des Gutachtens nicht erstellt.

124 Im Ergebnis gelangt der Expertenrat für Klimafragen zu der Bewertung, dass die Projektionsdaten 2024 die THG-Emissionen in den Sektoren Energie, Gebäude und Verkehr sowie – mit Einschränkungen – der Industrie im Vergleich zu einem 50/50-Emissionspfad unterschätzen. Zwar würde ein 50/50-Emissionspfad auch nach Einschätzung des Expertenrats zu stetigen Minderungen der jährlichen THG-Emissionen führen. Jedoch läge ein solcher Pfad oberhalb desjenigen der Projektionsdaten 2024, und die Überschreitung wäre in Summe vermutlich so groß, dass das gesetzliche Ziel der Jahresemissionsgesamtmengen 2021-2030 laut Bundes-Klimaschutzgesetz insgesamt nicht eingehalten würde.

Abbildung 14: Ergebnis der Einschätzung des Expertenrats des THG-Emissionspfads der Projektionsdaten 2024 gegenüber einem 50/50-Emissionspfad auf einer Likert-Skala



Eigene Darstellung. Bewertung des Emissionspfads gemäß der Projektionsdaten 2024 im Vergleich zu einem 50/50-Emissionspfad (siehe Kapitel 2), kumuliert für den Zeitraum 2021 bis 2030. Die Größe der Kreisflächen orientiert sich an den Anteilen der Sektoren am THG-Budget der Jahre 2021-2030.

125 Die Einschätzungen des Expertenrats für Klimafragen stehen im Einklang mit den Ergebnissen des von der Bundesregierung beauftragten Einordnungsgutachtens von Prognos/ifeu (Prognos und ifeu 2024). Insbesondere die Möglichkeit einer Unterschätzung der THG-Emissionen im Sektor Energiewirtschaft (bei hoher Unsicherheit) sowie in den Nachfragesektoren wird auch in der Zusammenfassung dieses Gutachtens hervorgehoben (Prognos und ifeu 2024, S. 10).

126 Die Analyse der Projektionsdaten 2024 von Agora Energiewende (2024b) hält die festgestellte Zieleinhaltung für möglich, was der hier getroffenen Feststellung zu einem 50/50-Emissionspfad nicht widerspricht. Auch dieses Gutachten weist auf die großen Unsicherheiten in der Projektion hin, im Hinblick auf i)) die Rahmendaten, z. B. Produktionsentwicklung und Temperaturen, ii) die in der

Projektion unterstellte hohe Wirksamkeit klimapolitischer Maßnahmen[64], z. B. beim Ausbau von Offshore-Wind, sowie iii) die unzureichende Berücksichtigung der knappen Lage des Bundeshaushalts und der unklaren mittelfristigen Finanzierungsperspektive in den Projektionsdaten 2024. Alle diese Faktoren sprechen tendenziell ebenfalls, wie hier festgestellt, dafür, dass ein 50/50-Emissionspfad oberhalb des Emissionspfads gemäß Projektionsdaten 2024 liegen würde.

127 Insgesamt stellt der Expertenrat für Klimafragen im Sinne der Vorgaben der Novelle des Bundes-Klimaschutzgesetzes fest, dass bei aggregierter Betrachtung aller Sektoren sowie bei Bezugnahme auf einen 50/50-Emissionspfad die Summe der THG-Emissionen gemäß den Emissions- und Projektionsdaten in den Jahren 2021 bis einschließlich 2030 die Summe der Jahresemissionsgesamtmengen nach Anlage 2 KSG in Verbindung mit § 4 Abs. 2 KSG für diese Jahre überschreitet. Der Expertenrat kann damit die von den Projektionsdaten 2024 ausgewiesene kumulierte Zielerreichung für die Jahre 2021 bis 2030 auf der Grundlage dieser Erwägungen nicht bestätigen, sondern geht im Gegenteil von einer Zielverfehlung aus.

128 Aus Sicht des Expertenrats ist diese Feststellung gleichbedeutend mit der Feststellung einer Zielverfehlung im Sinne von § 8 Abs. 1 Satz 1 KSG, da nach Auffassung des Expertenrats nicht das Ergebnis der Projektionsdaten selbst, sondern deren Bewertung durch den Expertenrat maßgeblich sein wird.[65]

129 Damit stellt der Expertenrat für das Jahr 2024 die erste Zielverfehlung im Sinne von § 8 Abs. 1 KSG fest.

130 Zudem stellt der Expertenrat für Klimafragen fest, dass gemäß den Emissions- und Projektionsdaten 2024 die Summe der Emissionsanteile der Sektoren, die der Europäischen Klimaschutzverordnung unterliegen, die für die Jahre 2021 bis 2030 in der Europäischen Klimaschutzverordnung für Deutschland festgelegten Zuweisungen in Summe überschreitet. Die Bezugnahme auf einen vermuteten 50/50-Emissionspfad bekräftigt diese Aussage.

131 Weiterhin bestätigt der Expertenrat für Klimafragen, dass laut Projektionsdaten 2024 das übergeordnete Ziel von mindestens 65 % Minderung bis zum Jahr 2030 gegenüber 1990 (§ 3 Abs. 1 Nr. 1 KSG) knapp nicht erreicht werden würde.

3.5 Klimapolitische Bewertung

132 Mit der durch den Expertenrat für Klimafragen getroffenen Feststellung einer Zielverfehlung in den Projektionsdaten 2024 im Sinne der Vorgaben der Novelle des Bundes-Klimaschutzgesetzes würde mit einer erneuten Zielverfehlung in den Projektionsdaten 2025 das Auslösekriterium gemäß § 8 Abs. 1 KSG erfüllt. In diesem Fall müssten „Maßnahmen, die die Einhaltung der Summe der Jahresemissionsgesamtmengen für diese Jahre [2021-2030] sicherstellen" bis zum Ende des Jahres 2025 von der Bundesregierung beschlossen werden (§ 8 Abs. 1 und Abs. 2 KSG). Die auslösende Wirkung im

[64] Der Expertenrat hat sich in der Vergangenheit mit den Wirkungen staatlicher Maßnahmen intensiv beschäftigt und ausgeführt: „Die Betrachtung zeigt jedoch auch, dass in der Programmplanung von deutlich höheren Minderungswirkungen ausgegangen wurde, als sie letztlich in der Umsetzung erzielt wurden. Dies war im Fall des APK 2020 vor allem auf die zeitverzögerte Umsetzung von Maßnahmen und eine geringere Effektivität einiger Maßnahmen (z. B. aufgrund von Mitnahme- und Überlagerungseffekten oder einer geringeren Ausschöpfung der Programmmittel) zurückzuführen, die sich erst später durch ex post-Evaluationen herausstellte“ (ERK 2022, RZ 267).

[65] Siehe die Gesetzesbegründung zur Novelle des Bundes-Klimaschutzgesetzes: „Maßgeblich für das Vorliegen einer Überschreitung soll künftig die Feststellung des Expertenrats für Klimafragen sein“ (Bundestag 2023).



Sinne von § 8 Abs. 1 Satz 1 KSG würde dabei trotz der Feststellung einer Zielverfehlung auch in Bezug auf die letztjährigen Projektionsdaten 2023 (ERK 2023c) noch nicht im laufenden Jahr 2024 eintreten, weil keine entsprechende Übergangsvorschrift im novellierten Bundes-Klimaschutzgesetz enthalten ist.

133 Im Licht der Analyseergebnisse der Projektionsdaten 2023 und 2024 sieht der Expertenrat für Klimafragen trotz der fehlenden Gesetzesfolge Handlungsbedarf für die Bundesregierung und den Gesetzgeber. Die Zielverfehlung für die Jahresemissionsgesamtmengen im Zeitraum 2021-2030 ist aus Sicht des Expertenrats *wahrscheinlicher* als die Zieleinhaltung. Zudem sollte die zu erwartende, gegenüber dem Ziel für das Jahr 2030 deutlich geringere Senkenleistung des Sektors LULUCF in die Gesamtbetrachtung eingehen, was die Einschätzung der Notwendigkeit zusätzlicher politischer Maßnahmen stützt.[66]

134 Weiterhin zeichnet sich eine deutliche Verfehlung der Zielvorgaben der Effort Sharing Regulation (ESR) der Europäischen Klimaschutzverordnung ab. Zwar wurden in der KSG-Novelle 2024 für den Fall der Überschreitung der THG-Emissionen in den Sektoren, die der Effort Sharing Regulation unterliegen, weitergehende Regelungen eingeführt.[67] Allerdings wird hier nur gefordert, dass die Bundesregierung einen Plan für Abhilfemaßnahmen zu entwickeln habe und darauf hinzuwirken habe, „(…) einen Ankauf von Emissionszuweisungen zur Erfüllung der Pflichten nach der Europäischen Klimaschutzverordnung zu vermeiden“ (§ 7 Abs. 3 KSG). Direkte Maßnahmen sind durch diese Regelung in Bezug auf die nationale Klimapolitik nicht ableitbar. Insbesondere wird die Bundesregierung lediglich verpflichtet, eine Stellungnahme aber keine weiteren Maßnahmen über die Zahlung der benötigten Emissionszertifikate hinaus vorzulegen, wenn die aus der Europäischen Klimaverordnung resultierenden THG-Jahresemissionsmengen in den ESR-Sektoren überschritten werden. Zudem könnte die Einführung des EU-ETS 2 mit paralleler Abschaffung des BEHG zu einer noch größeren Lücke führen, da das BEHG Emissionen umfasst, die unter die ESR fallen und für die bereits eine Zielverfehlung projiziert wird (siehe RZ 30).

135 Bei diesen Erwägungen weist der Expertenrat für Klimafragen zudem darauf hin, dass selbst nach Beschluss zusätzlicher Maßnahmen mit nennenswertem zeitlichem Verzug zu rechnen ist. Dazu gehört die Verzögerung, die bei vielen politischen Instrumenten, insbesondere Förderinstrumenten, auftritt, bis eine relevante Wirkung eintritt. Auf der Basis vergangener Analysen zeigt sich, dass sich zumindest für Maßnahmen, die als Fördermaßnahmen ausgestaltet sind, Verzögerungen ergeben, die den Wirkungszeitraum deutlich einschränken dürften. Solche Verzögerungen resultierten bspw. aus der Verabschiedung der Fördermaßnahmen, deren Bekanntmachung und Implementierung sowie der Bewilligung von Förderanträgen. Im frühesten Fall wäre also mit einem Maßnahmeneintritt im Laufe des Jahres 2026 zu rechnen, sodass maximal 48-60 Monate als Maßnahmenwirkungszeitraum bezogen auf das Zieljahr 2030 zu veranschlagen sind.

136 Sowohl die Projektionsdaten 2024 als auch die hier angestellten Überlegungen zu einem 50/50-Emissionspfad unterstellen eine generelle Persistenz der politischen Rahmenbedingungen auf deutscher, europäischer und globaler Ebene und betrachten mögliche Diskontinuitäten nicht. Nach Ansicht des Expertenrats für Klimafragen ist diese Einschränkung angesichts der Unvorhersagbarkeit derartiger Ereignisse und ihrer resultierenden Wirkung auf die Rahmenbedingungen der Projektionserstellung angemessen und entspricht den Vorgaben der EU-Governance-Verordnung.

66 Formal ist der Sektor LULUCF nicht Teil der Berechnung eines Überschreitungstatbestands für den Zeitraum 2021-2030 im Bundes-Klimaschutzgesetz.

67 Darüber hinaus sieht das Gesetz nun vor, dass noch im Jahr 2024 ein Vorschlag durch die Bundesregierung zu erarbeiten ist, wie das Brennstoffemissionshandelsgesetz in das Emission Trading System (ETS 2) zu überführen ist.

Nichtsdestotrotz ist vor dem Hintergrund jüngerer Entwicklungen nicht auszuschließen, dass sich z. B. die Vorgaben für nationale Klimapolitik durch eine Schwächung der europäischen Vorgaben zukünftig ändern könnten. Auch diese Erwägung spricht für rasches Gegensteuern gegen die erwartete, und möglicherweise durch derartige Effekte noch weiter verstärkte Zielverfehlung.

137 Der Expertenrat vergleicht in seiner Prüfung den Emissionspfad der Projektionsdaten 2024 mit einem vermuteten 50/50-Emissionspfad, also einem Pfad, der *ebenso wahrscheinlich* über- wie unterschritten wird. Eine projizierte kumulierte Zielverfehlung nach § 8 Abs. 1 KSG für die Jahre 2021 bis 2030 auf Basis eines solchen Emissionspfads würde damit eine tatsächlich eintretende Zielverfehlung *mindestens ebenso wahrscheinlich wie unwahrscheinlich* identifizieren. Der Expertenrat hält allerdings eine solche Wahrscheinlichkeit für nicht ausreichend, sondern hält im Sinne der Ziele des Bundes-Klimaschutzgesetzes einen Emissionspfad für angemessen, der zu einer *wahrscheinlichen* Einhaltung der Jahresemissionsgesamtmengen nach Bundes-Klimaschutzgesetz führt.

138 Vor diesem Hintergrund empfiehlt der Expertenrat für Klimafragen der Bundesregierung und dem Deutschen Bundestag, nicht auf das abermalige Eintreten einer Zielverfehlung zu warten, sondern die zeitnahe Implementierung zusätzlicher Maßnahmen zu prüfen. Diese Maßnahmen sollten geeignet sein, sowohl die Anforderung aus § 8 Abs. 1 Satz 1 KSG, nämlich die Einhaltung der Summe der Jahresemissionsgesamtmengen für die Jahre 2021 bis 2030, als auch die Anforderung aus der ESR, nämlich die Einhaltung der europäischen Emissionsobergrenzen, sicherzustellen. Vor dem Hintergrund der erwarteten Nichterreichung der ESR-Ziele sollte der Schwerpunkt auf den Sektoren Gebäude und Verkehr liegen, die zudem die größten Überschreitungen aufweisen.



4 Weitere Einordnungen

4.1 Darstellung und Einordnung der Projektionsdaten 2024 ohne LULUCF für den Zeitraum 2031-2050

139 Im Bundes-Klimaschutzgesetz werden neben den sektorenübergreifenden Jahresemissionsgesamtmengen für die Jahre 2020 bis 2030 (Anlage 2 KSG) auch sektorenübergreifende jahresscharfe prozentuale Minderungsziele für die Jahre 2031 bis 2040 (Anlage 3 KSG) definiert. Zudem sollen die THG-Emissionen so weit gemindert werden, dass im Jahr 2045 Netto-Treibhausgasneutralität und nach dem Jahr 2050 negative THG-Emissionen erreicht werden (§ 3 Abs. 2 KSG). In Abbildung 15 sind die THG-Emissionen gemäß der Projektionsdaten 2024 bis zum Jahr 2050 dargestellt. Zusätzlich sind die jährlich zulässigen Emissionsmengen nach dem Bundes-Klimaschutzgesetz abgebildet, zum einen nach der Anpassung durch den Ausgleichsmechanismus (§ 4 Abs. 2 KSG) in der dunkelroten durchgezogenen Linie und zum anderen ohne die Anwendung des Ausgleichmechanismus (gestrichelte Linie).[68]

140 Laut Projektionsdaten 2024 käme es in der Periode von 2031 bis zum Jahr 2040 zu einer deutlichen Überschreitung des Zielbudgets um 278 Mt CO_2-Äq., was einer Überschreitung um 10 % entspräche. Das Ziel der Netto-Treibhausgasneutralität bis zum Jahr 2045 würde ebenfalls sehr deutlich verfehlt und auch bis 2050 nicht erreicht.

141 Das Bundes-Klimaschutzgesetz sieht keine Regelung vor, wie im Falle der Unter- oder Überschreitung der Jahresemissionsgesamtmenge und der sektoralen Jahresemissionsmengen in den Zieljahren 2030 und 2040 umgegangen werden soll.[69] Im Gesetz steht nicht, dass eine Unter- oder Überschreitung des Budgetziels im Jahr 2030 auf die Folgeperiode, also auf das Jahr 2031, angerechnet wird. Das führt auf Basis der Projektionsdaten 2024 zu einem Sprung im Jahr 2031 der zulässigen Emissionsmengen unter Anpassung des Ausgleichsmechanismus (dunkelrote Linie, Abbildung 15). Der Sprung entspricht dann dem projizierten Puffer in der Periode 2021 bis 2030 (47 Mt CO_2-Äq.).

142 Bereits der MMS-Pfad aus den Projektionsdaten 2024 zeigt eine substanzielle Verfehlung der Klimaziele nach dem Jahr 2030 an. Dennoch ergibt sich aus dem Bundes-Klimaschutzgesetz keine Handlungsfolge aus dieser Erkenntnis. Zwar wurden bereits mit dem Bundes-Klimaschutzgesetz 2021 (aufgrund des Beschlusses des Bundesverfassungsgerichts) Ziele für die Jahresemissionsgesamtmengen für den Zeitraum 2031 bis 2040 in das Bundes-Klimaschutzgesetz eingeführt (Anlage 3 KSG). Zudem sollen noch im Jahr 2024 die Jahresemissionsgesamtmengen und die sektoralen Jahresemissionsmengen, die nach dem Gesetz bis 2030 schon bestehen, auch für die Jahre 2031 bis 2040 definiert werden (§ 4 Abs. 4 KSG und § 5 Abs. 8 KSG). Damit sind prinzipiell die Voraussetzungen geschaffen worden, um auch für diesen Zeitraum bereits frühzeitig eine vorausschauende Steuerung zu betreiben. Dennoch sieht die KSG-Novelle 2024 die Berichterstattung von jahresscharfen Projektionsdaten für diesen Zeitraum erst ab dem Jahr 2029 vor (§ 5a KSG). Zudem sollen entsprechende Maßnahmen erst ab dem Jahr 2030 für den Zeitraum 2031 bis 2040 beschlossen werden (§ 8 Abs. 4 KSG).

[68] Der Ausgleichsmechanismus regelt, dass Über- und Unterschreitungen gleichmäßig auf die Folgejahre bis zum folgenden Zieljahr (2030, bzw. 2040) angerechnet werden (KSG, §4 Abs. 2).

[69] KSG-Novelle 2024 § 4 Abs. 2: „Über- oder unterschreiten die Treibhausgasemissionen ab dem Jahr 2021 die jeweilige zulässige Jahresemissionsgesamtmenge, so wird die Differenzmenge auf die verbleibenden Jahresemissionsgesamtmengen bis zum nächsten in § 3 Absatz 1 genannten Zieljahr gleichmäßig angerechnet. Die Vorgaben der Europäischen Klimaschutzverordnung bleiben unberührt."

Abbildung 15: Historische und projizierte Entwicklung der THG-Emissionen (ohne LULUCF) im Vergleich zu den jährlich zulässigen Emissionsmengen

Entwicklung der THG-Emissionen [Mt CO_2-Äq.]

900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
-100

historisch

47 Mt CO_2-Äq. Puffer

278 Mt CO_2-Äq. Überschreitung

2021 2022 2023 2024 2025 2026 2027 2028 2029 2030 2031 2032 2033 2034 2035 2036 2037 2038 2039 2040 2041 2042 2043 2044 2045 2046 2047 2048 2049 2050

- Abfallwirtschaft & Sonstiges
- Landwirtschaft
- Verkehr
- Gebäude
- Industrie
- Energiewirtschaft
- Zulässige Emissionsmengen (mit Anpassung nach KSG § 4 Abs. 2)
- Zulässige Emissionsmengen (ohne Anpassung, KSG Anlage 2)

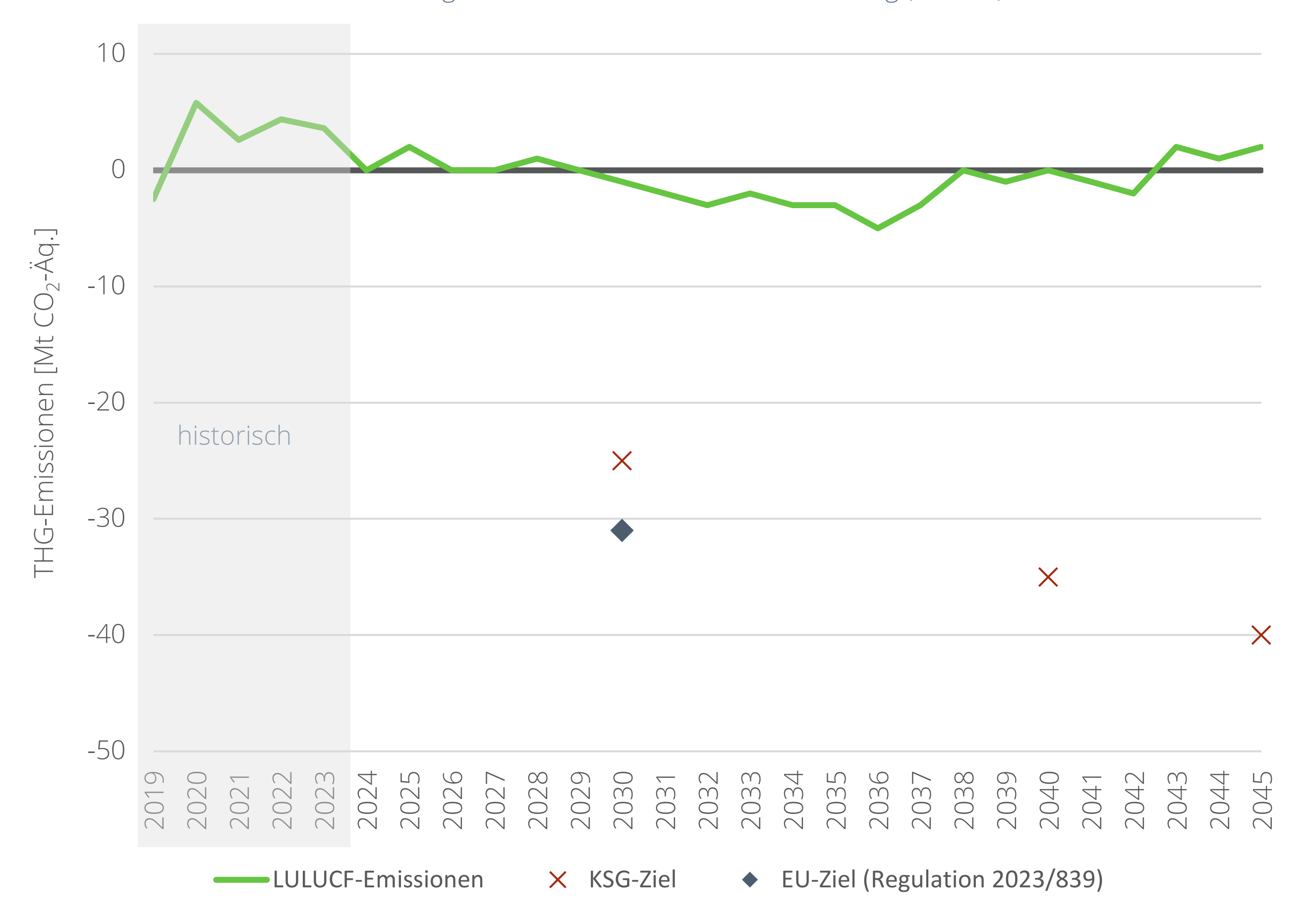
Eigene Darstellung. Basierend auf dem Bundes-Klimaschutzgesetz, auf den historischen Emissionsdaten (UBA 2024a) und den Projektionsdaten 2024 (UBA 2024e). Zwischen 2040 und 2045 gibt es keine jahresscharfen Gesamtemissionsmengen. Es wurde ein linearer Minderungspfad angenommen.



4.2 Darstellung und Einordnung der Projektionsdaten 2024 für LULUCF für den Zeitraum 2021-2050

143 Im Sektor LULUCF würden laut Projektionsdaten 2024 die THG-Emissionen von 2,6 Mt CO_2-Äq. im Jahr 2021 auf -1,3 Mt CO_2-Äq. im Jahr 2030 und somit um 150 % sinken. Für den Sektor LULUCF sieht das Bundes-Klimaschutzgesetz keine zulässigen Jahresemissionsmengen vor. Es werden aber Zielwerte für 2030 mit -25 Mt CO_2-Äq., für 2040 mit -35 Mt CO_2-Äq. und für 2045 mit -40 Mt CO_2-Äq. angegeben. Diese sollen für eine Stärkung der Senkenleistung sorgen. Laut den Projektionsdaten 2024 würden die Zielwerte weit verfehlt werden: im Jahr 2030 um etwa 23,7 Mt CO_2-Äq., im Jahr 2040 um etwa 35 Mt CO_2-Äq. und im Jahr 2045 um etwa 41 Mt CO_2-Äq. (siehe Abbildung 16). Der LULUCF Sektor wäre laut den Projektionsdaten 2024 bis zum Jahr 2045 nur eine schwache Senke. Insbesondere zur Mitte des Jahrhunderts, wenn THG-Neutralität erreicht werden soll, würde der Sektor eine THG-Quelle darstellen. Somit könnte der Sektor dann auch keinen Beitrag zum Ausgleich der Zielverfehlung in den anderen Sektoren liefern (siehe Kapitel 4.1).

Abbildung 16: Historische und projizierte THG-Emissionen im Sektor LULUCF sowie politische Ziele des Bundes-Klimaschutzgesetzes und der LULUCF-Verordnung (EU-Ziel)



Eigene Darstellung basierend auf UBA (2024b) und UBA (2024e).

144 Weitere verbindliche Ziele ergeben sich aus der LULUCF-Verordnung ((EU) 2018/841 und (EU) 2023/839), wobei auch hier Flexibilitäten zur Sicherstellung der Zielerreichung vorgesehen sind. Laut

Projektionsdaten 2024 würde sich für den ersten relevanten Zeitraum von 2021 bis 2025 eine Zieleinhaltung mit ca. 9 Mt CO_2-Äq. Übererfüllung ergeben. Im zweiten Zeitraum von 2026 bis 2030 würde sich zunächst eine deutliche Verfehlung der Ziele abzeichnen. Jedoch basieren die Berechnungen zur Erfüllung aller Ziele auf den Inventaren aus den Jahren 2025 und 2032, für die unter anderem wegen der ausstehenden Ergebnisse der Bundeswaldinventur 2022 mit starken Anpassungen der aktuellen LULUCF-Zeitreihen zu rechnen ist. Diese könnten auch dazu führen, dass das Senkenziel anders ausfällt, als in der LULUCF-Verordnung angeführt ist. Eine Zieleinhaltung für beide Zeiträume bzw. das Zieljahr 2030 selbst lässt sich abschließend also erst im Jahr 2032 feststellen.

145 Die Modellierung des LULUCF-Sektors erfolgt über das Modell LULUCFmod (Öko-Institut 2023) analog zur Nationalen Inventarberichterstattung (alle Kohlenstoff-Pools und Landnutzungskategorien). Ausnahmen sind, dass Eingangsdaten fortgeschrieben oder zur Abbildung von Maßnahmen angepasst werden, und Landnutzungsänderungen anhand von historischen Raten abgeleitet werden[70]. Das Modell erfasst die Landnutzung auf einem Raster mit einer Auflösung von 100 m mal 100 m. Die Abbildung von Maßnahmen erfolgt über angepasste Emissionsfaktoren oder vorgegebene Landnutzungsänderungen.

146 Der Austauschtermin mit dem Konsortium führte zu dem Ergebnis, dass die Methode in den Grundzügen nachvollzogen werden konnte. Sie folgt grundlegend der Nationalen Inventarberichterstattung. Im Modellverbund wird die Flächennutzung als Ergebnis des Sektormodells auf die Landwirtschaft übertragen. Flächenrelevante Maßnahmen, wie der Ausbau der Freiflächen-PV, werden ebenfalls konsistent anhand des Zubaus in der Energiewirtschaft abgebildet. Da Landnutzungsänderungen über konstante historische Raten vorgegeben werden, ist interne Konsistenz nur bedingt gegeben. Denn etwaige Flächennutzungsansprüche aus anderen Modellen, die auch aus teilweise gegenläufig wirkenden Maßnahmen oder sozio-ökonomischen Entwicklungen resultieren können (siehe Kapitel 3.3.2), werden nicht abgebildet. Das verzerrt möglicherweise die Ergebnisse (siehe RZ 149). Extern wirkende Dynamiken, wie zum Beispiel Preise für Roh- und Brennstoffe sowie Boden, werden nicht abgebildet. Alternative Methoden bestehen, die zusätzlich ein Abschätzen von Unsicherheiten, Sensitivitäten und potenzieller Wirkung von stochastischen Ereignissen und Klimawandelfolgen erlauben. Diese werden jedoch nicht angewendet[71]. Die Dokumentation der Maßnahmenausgestaltung ist teils nicht hinreichend[72].

147 Nachfolgende Einschätzungen beziehen sich vorwiegend auf den Zeitraum bis zum Jahr 2030. Die abgebildeten Maßnahmen haben generell eine geringe Wirkung.[73] Somit haben Effekte, die spezifisch Maßnahmen beeinflussen, ebenfalls einen geringen Umfang. Neue Instrumente, die seit der Erstellung der Projektionsdaten 2024 nennenswerte zusätzliche THG-Minderungswirkung böten, sind nicht bekannt.

148 Die Prüfung der exogenen Annahmen sowie der Modellergebnisse bietet Hinweise auf eine Überschätzung der Senkenwirkung. Dies wird darauf zurückgeführt, dass die Maßnahmenausgestaltung

[70] Die künftige Entwicklung der Landnutzung ist abhängig von vergangener Landnutzungsänderung, d.h. von 2017 auf 2022, spezifisch für jedes Bundesland simuliert; die Raten werden über den Modellierungszeitraum konstant gehalten.

[71] Eine Betrachtung von Unsicherheiten (z.B. über Modellensemble) oder Sensitivitäten (z.B. Flächenkonkurrenz, Klima) ist nicht gegeben. Zufällige Ereignisse und die langzeitige Wirkung von Klimawandeleffekten können nicht abgebildet werden.

[72] Betrifft z.B. Fördervolumina, Umsetzungsraten und zugehörige Flächennutzungsänderungen

[73] Neue Wirkung im Jahr 2030: Verringerung der Neuinanspruchnahme von Flächen: 0,65 Mt CO_2-Äq.; Moorbodenschutz und Reduzierung der Torfverwendung: 1,65 Mt CO_2-Äq.; Waldökosystem-Management und Schutz alter Buchenwälder: 0,77 Mt CO_2- Äq. (Thünen-Institut 2024)



teils optimistisch ist bzw. dass deren Annahmen bereits teilweise nicht mehr aktuellen Entwicklungen entsprechen und/oder weniger ambitioniert sind[74]. Dies betrifft den Moorbodenschutz und den Torfabbau, Waldökosystem-Management und den Schutz alter Buchenwälder. Insgesamt ist damit zu erwarten, dass geringfügig höhere THG-Emissionen eintreten.

149 Zusätzlich bestehen einige Unsicherheiten, die weder einer Über- noch einer Unterschätzung eindeutig zugeordnet werden können. Diese betreffen zum einen die ausstehenden Ergebnisse der Bundeswaldinventur 2022, die zu Korrekturen mit starkem Einfluss auf die THG-Emissionen führen könnte. Weiterhin ist die Entwicklung der Neuinanspruchnahme von Flächen[75] unsicher, und Verzerrungen durch die konstant gehaltenen Übergangswahrscheinlichkeiten bei Landnutzungsänderungen sind möglich. Hierzu wurden keine Analysen vorgelegt oder im Rahmen des Gutachtens durchgeführt. Die Größenordnung und die Richtung der Effekte lassen sich daher nicht zuverlässig bestimmen. Allerdings gibt es Hinweise darauf, dass Waldschäden der letzten Jahre noch nicht vollständig in den aktuellen Daten abgebildet sind (UBA 2024a); der projizierte THG-Emissionspfad wäre demnach zu niedrig angesetzt.

150 Der Realisierung des projizierten Emissionspfads stehen weitere Hemmnisse entgegen. Diese umfassen unter anderem den Fachkräftemangel bei Prozessen rund um Wiedervernässung von Moorböden, fehlende Akzeptanz für Maßnahmen mit potenziellen finanziellen Einbußen und/oder Umstellungen von traditionellen Lebensweisen, und das absehbare Auftreten von Kalamitäten und Klimawandelfolgen.

Gesamteinordnung hinsichtlich des Emissionspfads

151 Der Sektor LULUCF verfehlt laut Projektionsdaten 2024 sein KSG-Ziel für das Jahr 2030 von –25 Mt CO_2-Äq. deutlich und stellt bis zum Jahr 2045 wiederholt sogar eine THG-Quelle dar. Es gibt belastbare Hinweise darauf, dass der projizierte Emissionspfad tendenziell etwas zu niedrig eingeschätzt wird. Die Kohlenstoffspeicherung im Wald, die maßgebend für die Senkenfunktion des Sektors ist, wurde durch Störereignisse nachhaltig beeinträchtigt. Das volle Ausmaß wird dabei erst mit den Ergebnissen der Bundeswaldinventur im vierten Quartal 2024 ersichtlich sein. Zudem könnten solche Ereignisse sich auch in Zukunft wiederholen, was in der Projektion allerdings bislang nicht berücksichtigt wird. Dadurch bedingte Korrekturen könnten einen weitaus stärkeren Einfluss auf den Emissionspfad haben als die abgebildeten Maßnahmen, welche eine vergleichsweise geringe THG-Minderungswirkung aufweisen. Mit einer Zieleinhaltung ist auch bei nachträglichen Korrekturen aufgrund der Bundeswaldinventur sehr wahrscheinlich weiterhin nicht zu rechnen.

[74] Folgende Annahmen (kein Anspruch auf Vollständigkeit) sind unsicher oder weisen bereits abweichende Entwicklungen auf: i) Kurzfristige Entwicklung der Feuchtgebietsfläche durch Wiedervernässung, insbesondere von 2024 auf 2025, ii) Mittelkürzung relevanter Instrumente und des Aktionsprogramms Natürlicher Klimaschutz im KTF, iii) Zusätzlichkeit der geförderten Flächenstilllegung im Klimaangepassten Waldmanagement ist nicht gesichert (UBA 2024k), da Flächen ggf. ohnehin nicht genutzt würden (z.B. Steillagen), iv) Schutz alter Buchenwälder auf kleinerer Bundesfläche als angenommen und schrittweise, statt instantan (BMUV 2024); Umsetzung im Nicht-Bundeswald nicht gesichert

[75] Nur schwach negativer Trend in naher Vergangenheit (Destatis 2024a) und Flächen- bzw. Nutzungskonkurrenzen durch interagierende oder gegenläufige Programme und Strategien (z.B. Ausbau Freiflächen-PV, Wohnungsbau-Initiative und Flächenziele der Nachhaltigkeitsstrategie UBA 2024k; Osterburg et al. 2023)

4.3 Zusammenfassung

152 Im Zeitraum 2031 bis 2040 zeigt sich in den Projektionsdaten 2024 eine deutliche projizierte Zielüberschreitung des THG-Budgets um 278 Mt CO_2-Äq. Das Ziel der Netto-Treibhausgasneutralität bis zum Jahr 2045 würde zudem sehr deutlich verfehlt und auch bis 2050 nicht erreicht. Der Sektor LULUCF würde laut Projektionsdaten 2024 im gesamten Zeitraum von 2021 bis 2045 zu THG-Emissionen von -7,2 Mt CO_2-Äq. führen und insofern eine geringe Senke darstellen. Im Zeitraum 2021 bis 2030 wäre der Sektor LULUCF eine Quelle im Umfang von 12,6 Mt CO_2-Äq. In der Periode 2031 bis 2040 wird für den Sektor LULUCF eine Senkenleistung im Umfang von 21,6 Mt CO_2-Äq. ausgewiesen, in der Periode 2041 bis 2045 würde der Sektor jedoch wiederrum eine Quelle im Umfang von 1,8 Mt CO_2- Äq. darstellen. Der LULUCF Sektor würde damit seine Ziele nach Bundes-Klimaschutzgesetz nicht erreichen.

153 Aus den projizierten Überschreitungen für den Zeitraum nach 2030 ergibt sich im Bundes-Klimaschutzgesetz für die kommenden Jahre bis zum Jahr 2030 keine Handlungsfolge. Dem Expertenrat erschließt sich angesichts einer den Projektionsdaten 2024 in Verbindung mit weiteren Betrachtungen klar zu entnehmenden absehbaren Zielverfehlung nicht, warum so lange mit vorausschauender klimapolitischer Steuerung abgewartet werden soll. In diesem Sinne empfiehlt der Expertenrat der Bundesregierung und dem Deutschen Bundestag eine zeitnahe Befassung mit der Frage nach zusätzlichen klimapolitischen Maßnahmen für die Zeit nach dem Jahr 2030. Der Expertenrat sieht beispielsweise in der Wiedereinführung des Klimakabinetts eine Chance, entsprechende langfristig angelegte Maßnahmen zu entwickeln (siehe auch Flachsland et al. 2024). Auch bezüglich der Zielverfehlung im Sektor LULUCF empfiehlt der Expertenrat die rasche Einleitung von gegensteuernden Maßnahmen.



5 Anforderungen an den Prozess zur Erstellung der Projektionsdaten

154 Bereits in früheren Berichten hat der Expertenrat die ausschließliche Nutzung von ex-post Daten für die klimapolitische Steuerung im bisherigen Bundes-Klimaschutzgesetz kritisiert (ERK 2023b, Tabelle 9). Kern der damaligen Argumentation des Expertenrats war, dass die Transparenz über das THG-Emissionsgeschehen durch eine Koppelung von ex-post und ex-ante Daten deutlich gesteigert werden kann. Insofern wird die im novellierten Bundes-Klimaschutzgesetz vorgenommene Änderung in der Datengrundlage, die für die Steuerung herangezogen wird, als grundsätzlich positiv bewertet.

155 Der Expertenrat hat sich sowohl in seiner Stellungnahme zum Klimaschutzprogramm 2023 (ERK 2023c) als auch in diesem Gutachten eingehend mit den Projektionsberichten und Projektionsdaten sowie deren Erstellung befasst. Im Lichte dieser Befassung hat sich der Expertenrat Gedanken dazu gemacht, welche grundsätzlichen Anforderungen an den Prozess zur Erstellung von Projektionsdaten sinnvoll erscheinen, insbesondere vor dem Hintergrund der Bedeutung, die diese Projektionsdaten im Kontext des novellierten Bundes-Klimaschutzgesetz gewinnen.

156 Insbesondere wirft die Verwendung von Projektionsdaten neue Herausforderungen bezüglich einer sachgerechten Modellierung auf (siehe Kapitel 3 und Kapitel 5.1). Denn anders als bei den bisher verwendeten ex-post-Daten handelt es sich nicht um Berechnungen von THG-Emissionen auf Basis empirisch nachprüfbarer Aktivitätsdaten. Künftig werden modellgestützte Vorausberechnungen von THG-Emissionen auf Basis der ebenfalls modellgestützten Vorausberechnung von Aktivitäten in allen Sektoren der Volkswirtschaft einschließlich LULUCF genutzt. Vorausberechnungen dieser Art können nicht den Anspruch auf exakte Prognose erheben.[76] Insbesondere sind fast alle in die Modellierung eingehenden Parameter mit inhärenter Unsicherheit[77] verbunden. Zudem vergrößert die (unvermeidlich ungenaue) Modellierung ihrer Wechselwirkungen untereinander sowie mit weiteren Parametern, die in der Modellierung nicht erfasst sind, das Schätzproblem.

157 Im novellierten Bundes-Klimaschutzgesetz können aus der Feststellung des Expertenrates zu den Projektionsdaten erhebliche Folgen resultieren, nämlich die Pflicht zum Beschluss zusätzlicher klimapolitischer Maßnahmen durch die Bundesregierung. Daher müssen die Behandlung von Unsicherheit, die Qualität von Daten und Modellierung sowie die Governance des Erstellungsprozesses höchsten Anforderungen genügen.

5.1 Behandlung von Unsicherheit

5.1.1 Anforderungen

158 In der EU-Governance-Verordnung wird für die zu berichtenden zukünftigen Emissionsentwicklungen durchgängig der Begriff „Projektionen“ verwendet, ohne diesen jedoch näher zu definieren. Aus den genannten Gründen muss man davon ausgehen, dass reale Entwicklungen in aller Regel von den zuvor

[76] Siehe z.B. Lauster (2015).

[77] Unsicherheit liegt hierbei sowohl im engeren Sinne als (kalkulierbares und potenziell versicherbares) Risiko als auch als fundamentale Unsicherheit im Sinne von Frank Knight vor (siehe Frambach (2019)).



projizierten Entwicklungen abweichen werden.[78] Über die Höhe und Richtung dieser Abweichung besteht zum Zeitpunkt der Projektion Unsicherheit, welche zudem nicht vollständig als Risiko kalkuliert werden kann.[79] Wie oben dargestellt (siehe Kapitel 2), ist es für die sinnvolle Nutzung der Projektionsdaten als Auslösetatbestand im Bundes-Klimaschutzgesetz nach Ansicht des Expertenrats unerlässlich, diese Unsicherheit sowohl in der Selbstbeschreibung als auch bei der Herleitung der Emissionspfade methodisch umfassend und systematisch zu berücksichtigen.[80]

159 In Übereinstimmung mit der Grundanlage der Definitionen in der EU-Governance-Verordnung erscheint dem Expertenrat der Ausweis einer Projektion, die vom Forschungskonsortium als 50/50-Emissionspfad klassifiziert wird, allenfalls die Minimalanforderung bezüglich der projizierten Emissionsmengen zu sein (siehe Kapitel 2). Wie bereits ausgeführt, sollte der Projektionspfad – unter gegebenen Rahmenbedingungen, unter Einbeziehung der implementierten Maßnahmen und nach Abgleich der verwendeten Annahmen mit dem aktuellsten Stand des Wissens – aus Sicht des Expertenrates einen Emissionspfad beschreiben, der *wahrscheinlich* nicht überschritten wird.

160 Für die vorauslaufende Erkundung der Größenordnung der möglichen Unsicherheit sind insbesondere Sensitivitätsanalysen ein geeignetes Instrument, dies allerdings nur, wenn eine Vielzahl von Parametern und Parameterkombinationen in hinreichendem Maße variiert wird.

5.1.2 Derzeitiges Vorgehen

161 Der im heutigen Verfahren etablierte Umgang mit Unsicherheit wird in Tabelle 9 im Hinblick auf die zuvor genannten Anforderungen bewertet. Dabei werden bereits die Anpassungen berücksichtigt, die laut Leistungsbeschreibung (UBA 2024f) für die Erstellung der Projektionsdaten 2025-2027 vorgesehen sind.

[78] Ein Vergleich der Jahreswerte zwischen den Projektionsdaten vergangener Projektionsberichte und den tatsächlichen Emissionsdaten zeigt, dass die Abweichungen in einer Größenordnung von bis zu 130 Mt CO_2-Äq. liegen und sowohl Über- als auch Unterschätzungen ausweisen können (siehe Abbildung A 25). Dies kann unter anderem darauf zurückgeführt werden, dass i) die verwendeten Modelle ein vereinfachtes Abbild der Wirklichkeit darstellen, ii) die Entwicklungen der Rahmendaten anders sind als angenommen, iii) die Wirkungen von Maßnahmen über- oder unterschätzt werden, iv) sich der politische Instrumentenmix geändert hat und v) nicht vorhersagbare Ereignisse nicht abgebildet werden können wie beispielsweise die Covid-19-Pandemie oder die Energiepreisentwicklungen und wirtschaftlichen Folgen aufgrund des Krieges von Russland gegen die Ukraine.

[79] In der statistischen Diskussion wird zwischen aleatorischer, epistemischer und statistischer Unsicherheit unterschieden. Siehe zu den Unterschieden Gillhuber (2023) und Blättel-Mink (2021).

[80] Siehe dazu auch Flachsland et al. (2024).



Tabelle 9: Gegenüberstellung der Anforderungskriterien an die Erstellung von Projektionsdaten mit dem derzeit etablierten Verfahren bezüglich der Behandlung von Unsicherheit

Anforderungs-kriterium	Beurteilung heutigen Vorgehens	Begründung
Betrachtung von Unsicherheiten	Nicht enthalten	Gemäß der Leistungsbeschreibung für die Beauftragung des Forschungskonsortiums (UBA 2024f), das die die Projektionsdaten erstellt, bilden mit „(…) Computermodellen erstellte Szenarien, die die möglichen Entwicklungen integrieren und konsistent darstellen (…)“ den inhaltlichen und methodischen Kern der Modellierung der Projektionsdaten (UBA 2024f, S. 4). Der Begriff Szenario stellt keinerlei Anforderung an die Beschreibung der Art der mit den berichteten Daten verbundenen Unsicherheit, sondern formuliert nach gängigem Verständnis lediglich den Anspruch seiner grundsätzlichen „Möglichkeit“[81].
Wahrscheinlich-keitsaussagen	Nicht enthalten	Der projizierte Emissionspfad wird nicht anhand einer Wahrscheinlichkeitsaussage qualifiziert. Es wird an keiner Stelle eine Aussage dahingehend getroffen, dass der berichtete Pfad ein 50/50-Emissionspfad wäre oder eine sonstige Qualifizierung vorgenommen, die eine entsprechende Einordnung ermöglichen würde. Ausweislich der aktuellen Leistungsbeschreibung ist keine substanzielle Veränderung des bisherigen Vorgehens vorgesehen.
Sensitivitäten	Ansatzweise enthalten	Rechnungen zu Sensitivitäten sind enthalten, allerdings nur für einige wenige Parameter. Die Sensitivitäten wurden nicht im Gesamtmodellverbund gerechnet, sondern nur in den jeweiligen Einzelmodellen. Eine Begründung dafür, ob und – wenn ja warum – dieses Vorgehen geeignete Ergebnisse erzielt, liegt dem Expertenrat nicht vor. Zudem werden wichtige Rahmendaten, von denen ebenfalls ein relevanter Einfluss erwartet werden kann, nicht variiert (beispielsweise der Umfang des Ausbaus der Nutzung von erneuerbaren Energieträgern). Insgesamt wird durch die Sensitivitätsanalysen nicht das Spektrum der möglichen Entwicklungen der THG-Emissionen aufgespannt. Auch in der Leistungsbeschreibung für den neuen Auftrag sind nur 14 Sensitivitätsrechnungen vorgesehen, was keine Erhöhung gegenüber dem bisherigen Stand darstellt.

Eigene Darstellung.

5.2 Daten und Modellierung

5.2.1 Anforderungen

162 Eine wichtige Anforderung an jegliche Modellierung ist Konsistenz. Neben der zwingenden Anforderung an die interne Konsistenz der einzelnen Modelle in sich ist auch die Konsistenz der Modelle untereinander im Modellverbund zu gewährleisten (siehe RZ 45ii)). Darüber hinaus erscheint dem Expertenrat die angemessene Berücksichtigung der vielfältigen Wechselwirkungen der verschiedenen Sektoren, die im Bundes-Klimaschutzgesetz genannten werden, mit der wirtschaftlichen Entwicklung als Ganzes von herausgehobener Bedeutung zu sein (siehe RZ 45i). Denn der im Bundes-Klimaschutzgesetz vorgegebene Weg zur angestrebten Klimaneutralität im Jahr 2045 setzt erhebliche Investitionen und

[81] „Ein Szenario beschreibt eine aus heutigem Wissen für möglich gehaltene zukünftige Entwicklung. Da sich das Wissen verändert, können bisher als unmöglich eingeschätzte zukünftige Entwicklungen möglich werden und umgekehrt.“ (CENA Hessen 2023, S. 4).

einen grundlegenden Austausch und Umbau wesentlicher Kapitalgüter und Infrastrukturen voraus. Dies geht mit einem enormen Finanzbedarf einher. Für eine konsistente Abbildung des Emissionsgeschehens scheint es deshalb wichtig, volkswirtschaftliche Zusammenhänge modellendogen zu erfassen einschließlich deren Rückwirkungen auf die Investitionen und damit die Transformationsgeschwindigkeit. Der ermittelte Projektionspfad sollte daher wesentliche Wirkzusammenhänge wie Nachfrageentwicklung, Beschäftigungsimplikationen (Stichwort Fachkräftemangel), Budgets privater Haushalte und Staatsfinanzen sowie Änderungen relevanter Wertschöpfungsketten ausdrücklich erfassen.

163 Im Bereich der Modellierung techno-polit-ökonomischer Systeme sind zwei grundsätzliche Ansätze zu unterscheiden. Beide finden insbesondere im Bereich der Energiesystemmodellierung breite Anwendung: nämlich explorative und normativ ausgerichtete Modellierungsansätze. Normativ ausgerichtete Modellierungen enthalten bestimmte Zielstellungen, z. B. im Hinblick auf die Entwicklung der THG-Emissionen, als feste Randbedingung und beschreiben im Ergebnis Systemlösungen, die damit kompatibel sind. Explorativ ausgerichtete Ansätze verwenden die Beschreibung von Wirkzusammenhängen, um daraus unter Verwendung gegebener Rahmenbedingungen, wie z. B. implementierter Maßnahmenpakete, prognostische Aussagen abzuleiten. Für den Zweck der Erstellung der Projektionsdaten sind ausschließlich explorative Ansätze zu nutzen, bei denen keine Setzungen von Zielen (oder Teilzielen) Bestandteil der Modellierung sind.

164 Aus der Anforderung, möglichst viele Sensitivitäten rechnen zu können (siehe Kapitel 5.1), ergeben sich zusätzliche Leistungsmerkmale des verwendeten Modellverbundes. Insbesondere muss die Möglichkeit der Durchführung von Rechenläufen gegeben sein, bei denen einzelne Parameter, Annahmen oder Maßnahmenausgestaltungen gezielt geändert werden, um die Auswirkung auf das Ergebnis im Hinblick auf die Emissionsentwicklung zu erfassen. In der Regel sollten hierfür Rechenläufe des Gesamtmodells herangezogen werden, es sei denn, es gibt stichhaltige Gründe dafür, dass eine Wechselwirkung mit anderen Sektoren oder den Entwicklungen der Rahmendaten vernachlässigbar ist.

165 Für die Ergebnisse ist eine möglichst hohe Robustheit anzustreben. Robustheit bedeutet in diesem Kontext, dass auch bei Verwendung anderer Modellogiken oder Lösungsverfahren reproduzierbare Ergebnisse resultieren. Dafür könnten z. B. Zweitmodellierungen oder Modellvergleiche herangezogen werden.

166 Eine hohe Transparenz des Prozesses zur Erstellung der Projektionsdaten sowie hinsichtlich der verwendeten Daten und Annahmen ist ein wesentliches Element für die Schaffung einer hohen Glaubwürdigkeit. Im Hinblick auf die Modellierung, die eingehenden Rahmendaten, die implementierten Maßnahmen und die Ergebnisdaten bedeutet dies, dass eine möglichst übersichtliche, vollständige, nachvollziehbare und der Öffentlichkeit zugängliche Dokumentation notwendig ist.

5.2.2 Derzeitiges Vorgehen

167 Das zur Erstellung der Projektionsdaten heute etablierte Verfahren wird in Tabelle 10 im Hinblick auf die zuvor genannten Anforderungen bewertet. Dabei werden bereits die Anpassungen berücksichtigt, die laut Leistungsbeschreibung (UBA 2024f) für die Erstellung der Projektionsdaten 2025-2027 vorgesehen sind.



Tabelle 10: Gegenüberstellung der Anforderungskriterien an die Erstellung von Projektionsdaten mit dem derzeit etablierten Verfahren bezüglich Daten und Modellierung

Anforderungs-kriterium	Beurteilung heutigen Vorgehens	Begründung
Makro-ökonomische Kopplung (wesentliches Merkmal externer Konsistenz)	Nicht gegeben	Makro-ökonomische Wirkzusammenhänge werden nicht modelliert[82], z. B. hat das Sanierungsgeschehen im Gebäudesektor keinen Einfluss auf die gesamtwirtschaftliche Entwicklung.
Interne Konsistenz im Modellverbund	Bedingt gegeben	Zwar werden selektiv Wechselwirkungen (sog. Interaktionseffekte) modelliert. Dabei handelt es sich allerdings überwiegend um die Auswirkung von Ergebnissen der Modellierung in den Nachfragesektoren auf den Strommarkt. Darüber hinaus werden für ausgewählte Einzelprozesse Wechselwirkungen zwischen Teilmodellen berücksichtigt. Generell erfolgt die Wirkmodellierung dabei nur in eine Richtung, d. h. es werden z. B. keine geänderten Strompreise, die sich aus Nachfrageentwicklungen im Strommarktmodell ergeben könnten, in einer erneuten Modellierung der Nachfragesektoren berücksichtigt. Alles in allem sind die Ergebnisse der Modelle nur teilweise wechselseitig miteinander verknüpft.
Interne Konsistenz in den Einzel-modellen	Weitgehend gegeben	Eine jeweilige Bewertung hierzu findet sich in den Ausführungen zu den sektoralen Modellen (siehe Kapitel 3.3).
Interne Konsistenz: Annahmen	Bedingt gegeben	Bei Rahmendaten wird teilweise auf unterschiedliche Quellen zurückgegriffen und diese teilweise sogar innerhalb einer Zeitreihe vermischt.
Exploratives Rechnen	Weitgehend gegeben	Nach Kenntnis des Expertenrates rechnen alle Einzelmodelle explorativ. Bestimmte Festsetzungen wie z. B. für die Entwicklung des Ausbaus der Wandler erneuerbarer Energien (z. B. Sonne, Wind) sind nicht modellbedingt begründet, sondern ergeben sich aus dem Auftrag an das beauftragte Konsortium bzw. der Absprache zu sektoralen Rahmendaten. In diesem Sinne ergeben sich Einschränkungen des explorativen Charakters der Modellierung.
Modellarchitektur zur Durchführung automatisierter Rechenläufe	Bedingt gegeben	Zwar gibt es eine schlüssige Modellarchitektur, in der die Ergebnisse der Modellierung der Nachfragesektoren in einem integrierenden Kernmodul (ENUSEM) einerseits mit einem Strommarktmodell (PowerFlex) sowie verschiedenen Bilanzierungs- und Aggregationsmodulen gekoppelt sind; allerdings gibt es bislang keine endogenen Kopplungen, durch die relevante Wechselwirkungen automatisiert erfasst würden.

[82] Die sozio-ökonomische Folgenabschätzung, die für den Projektionsbericht 2023 durchgeführt wurde (UBA 2024g) und auch für die Folgejahre vorgesehen ist, erfüllt diese Anforderungen insofern nicht, als eine gesamtwirtschaftliche Modellierung erst im Nachgang zur Erstellung der Projektionsdaten erfolgt und die dort berechneten Investitionsbedarfe und Einsparungen (von Energiekosten) als Impulse für die gesamtwirtschaftliche Analyse aufgreift. Außerdem geht hier nur die Differenz zwischen MWMS und MMS in die Berechnung ein, d. h. es erfolgt keine Betrachtung der makro-ökonomischen Wirkzusammenhänge für das hier relevante MMS selbst.

Anforderungs-kriterium	Beurteilung heutigen Vorgehens	Begründung
Robustheit, Zweitmodellierung/ Modellvergleiche	Bedingt gegeben	Bis zur Erstellung der Projektionsdaten 2024 war keine Zweitmodellierung vorgesehen. In der Leistungsbeschreibung für die Folgejahre ist sie für zwei Nachfragesektoren, Gebäude und Verkehr, enthalten, allerdings beschränkt auf den Berichtszyklus 2025. Die Verantwortung hierfür läge im derzeitigen Prozess beim Auftraggeber.
Transparenz	Bedingt gegeben	Die wesentlichen Annahmen sowohl zu Rahmendaten als auch zu implementierten Maßnahmen sind transparent verfügbar. Ergebnisdateien stehen ebenfalls zur Verfügung, an vielen Stellen allerdings nur als aggregierte Daten, womit die Einsicht und ggf. Weiteranalyse begrenzt ist. Der Expertenrat erhielt im Rahmen von Workshops mit den Mitgliedern des beauftragten Konsortiums auch Einblick in die grundlegenden Modellstrukturen und Rechenansätze. Beschreibungen der verwendeten Einzelmodelle liegen zuletzt aus dem Projektionsbericht 2023 (Öko-Institut et al. 2023) vor, der Detaillierungsgrad ist je nach Sektor unterschiedlich und nur teilweise ausreichend für eine detaillierte Prüfung.

Eigene Darstellung.

168 Im Kontext der Analyse der Projektionsdaten 2024 sind dem Expertenrat eine Reihe weiterer konkreter Limitierungen im derzeitigen Modellierungsvorgehen aufgefallen:

- Das Strommarktmodell arbeitet ohne räumliche Auflösung innerhalb Deutschlands („Kupferplatte“). Somit sind Netzrestriktionen nicht enthalten, die gerade beim weiteren starken Ausbau von Wandlern erneuerbarer Energien eine wichtige Limitierung des Stromtransports und damit der Nutzung der so gewonnen Elektrizität spielen können. Für die zukünftige Erstellung der Projektionsdaten wäre deshalb anzustreben, ein Strommarktmodell mit höherer räumlicher Auflösung und unter Berücksichtigung von Netzinfrastrukturen zu verwenden oder zumindest robuste Abschätzungen der zu erwartenden Effekte zu ergänzen.
- Eine ähnliche Anforderung wäre an die Erfassung des Hochlaufes der Wasserstoff-Infrastruktur sowie weiterer wesentlicher Infrastrukturen zu stellen (z.B. Fernwärmenetze, Ladeinfrastruktur für E-Mobilität).
- Die Nachfrage nach bestimmten Energieträgern ist in den Nachfragemodellen bisher nicht durch entsprechende Maßnahmen limitiert. Gerade bei Biomasse, aber auch bei Wasserstoff und synthetisch hergestellten Kohlenwasserstoffen sind jedoch Mengenbegrenzungen aufgrund von Marktverfügbarkeiten sowie Nutzungskonflikten zu erwarten. Deshalb wäre es wichtig, in der zukünftigen Modellierung derartige Begrenzungen zu berücksichtigen, auch unter explizitem Rückgriff auf diesbezügliche Maßnahmen der Bundesregierung. Die Allokation auf unterschiedliche Nachfragesegmente sollte sich dann modellendogen ergeben.



5.3 Governance

5.3.1 Anforderungen

169 Aus der unvermeidbaren Unschärfe bei der Vorhersage zukünftiger Emissionen verursachender Aktivitäten ergeben sich, wie bereits erwähnt, Herausforderungen. Neben der möglichst guten Erfassung der Unsicherheit, die mit der Projektion verbundenen ist, und einer entsprechend konsistenten Modellierung, ist eine weitere Herausforderung folgende: Im Korridor der Unsicherheit sind viele Modellergebnisse „möglich" und mit begründbaren Annahmen ableitbar. Damit hängt das modellierte Ergebnis von einer Vielzahl von Modellierungsentscheidungen bezüglich Rahmendaten und sonstiger Modellparameter ab. Bei deren Wahl bestehen erhebliche Freiheitsgrade, zumal wenn, wie bislang, nur die „Möglichkeit" des modellierten Szenarios gefordert wird. Daher besteht aus Sicht der Zielsetzung des Bundes-Klimaschutzgesetzes das prozessuale Risiko, dass die Setzung der Rahmendaten und Modellparameter innerhalb dieser Freiheitsgrade beeinflusst werden könnte, beispielsweise mit Blick auf eine optimistische Darstellung des zu erwartenden Emissionsgeschehens.

170 Die Notwendigkeit der Festlegung von Annahmen und Rahmendaten für die Erstellung von Projektionsdaten wird auch von der Bundesregierung erkannt. Zum kritischen Aspekt der Annahmen und Setzungen in den Modellierungen wird in der Leistungsbeschreibung für die Beauftragung der Erstellung der Projektionsdaten ausgeführt (UBA 2024f): „Computermodelle können nur Ausschnitte von Struktur, Mustern, Entitäten und Dynamik realer Systeme abbilden. Zum einen sind reale Systeme komplex und ihre Entwicklung ist unsicher. Zum anderen stehen nicht alle Informationen für die Modellierung und Simulation realer Systeme zur Verfügung. Überdies basieren Computermodelle auf verschiedenen Theorien, Wertvorstellungen und Sichtweisen, da die Realität unterschiedlich bewertet wird" (UBA 2024f).

171 Zur Gewährleistung einer möglichst objektiven Ermittlung der Projektionsdaten sieht der Expertenrat die folgenden wesentlichen Anforderungen:

- i) Unabhängigkeit und Unbefangenheit des Forschungskonsortiums;
- ii) Setzung von Rahmendaten und Modellparametern ohne Einfluss des Auftraggebers (Ausnahme: Maßnahmen und sonstige staatlich unmittelbar beeinflusste Parameter);
- iii) eine kriteriengestützte Begründung der Auswahl von Modellparametern, Maßnahmen sowie von Sensitivitäten;
- iv) eine wissenschaftliche Einordnung der erhaltenen Ergebnisse durch Dritte („*peer-review*"), sowie
- v) umfassende Transparenz über Prozess und Inhalte.

172 Die Unabhängigkeit des Forschungskonsortiums, Ziffer i), bedeutet, dass dieses unbeeinflusst und unter Vermeidung kritischer Abhängigkeiten die Erstellung der Projektionsdaten ausführen kann.

173 Die Setzung von Parametern, Ziffer ii), beeinflusst direkt das Modellergebnis. In der öffentlichen Anhörung des Deutschen Bundestags zur Novelle des Bundes-Klimaschutzgesetzes im November 2023 stellte der Sachverständige Müller diesbezüglich fest: „Für die Glaubwürdigkeit des Regierungshandelns ebenso wie für die Effektivität des Mechanismus ist es entscheidend, dass es hier nicht zu einer ungerechtfertigten Einflussnahme oder gar Manipulation oder Missbrauch kommt. Entsprechende Vorkehrungen haben daher eine überragende Bedeutung" (Müller 2023, S. 5). Der Expertenrat sieht die

Bereitstellung von Rahmendaten und Parametern für solche Daten (wie z. B. Budgets für Fördermaßnahmen) durch die Bundesregierung dort als sinnvoll an, wo diese direkt von der Bundesregierung beeinflusst werden. Allerdings sollte aus Sicht des Expertenrats auf die größtmögliche Unabhängigkeit des Forschungskonsortiums bei der Auswahl derjenigen Rahmendaten gelegt werden, die nicht direkt durch die Bundesregierung beeinflussbar sind.

174 Bei den Kriterien zur Auswahl von Rahmendaten und Modellparametern, Ziffer iii), ist vor allem auf eine möglichst eindeutige und einheitliche Interpretierbarkeit der erhaltenen Ergebnisse zu achten, insbesondere bezüglich der mit den erhaltenen Daten verbundenen Eintrittswahrscheinlichkeit (siehe Kapitel 2, Kapitel 5.1 und oben).

175 Eine unabhängige wissenschaftliche Überprüfung, Ziffer iv), durch Dritte dient der Qualitätskontrolle und kann dazu beitragen, die Objektivität und Glaubwürdigkeit der Ergebnisse zu gewährleisten. Voraussetzung dafür ist, dass die Prüfenden in der konkreten Umsetzung in die Lage versetzt werden, dieser Aufgabe umfassend und gründlich nachzukommen.

176 Transparenz, Ziffer v), schließlich ermöglicht der Öffentlichkeit und insbesondere allen interessierten Sachkundigen, die Projektionen des Forschungskonsortiums aus eigener Anschauung zu plausibilieren und gegebenenfalls abweichende Einschätzungen öffentlich zur Sprache zu bringen. Zudem stärkt Transparenz die Glaubwürdigkeit des Verfahrens.

5.3.2 Derzeitige Governance

177 Die zur Erstellung der Projektionsdaten heute verwendete Governance wird in Tabelle 11 im Hinblick auf die zuvor genannten Anforderungen bewertet. Dabei werden bereits die Anpassungen berücksichtigt, die laut Leistungsbeschreibung (UBA 2024f) für die Erstellung der Projektionsdaten 2025-2027 vorgesehen sind.

Tabelle 11: Gegenüberstellung der Anforderungskriterien an die Governance der Erstellung von Projektionsdaten mit dem derzeit etablierten Verfahren

Anforderungs-kriterium	Beurteilung heutigen Vorgehens	Begründung
Unabhängigkeit und Unbefangenheit	Nicht anwendbar, da bislang andere Zielsetzung	Das gegenwärtige Forschungskonsortium ist in ähnlicher Besetzung seit rund 10 Jahren im Rahmen einer öffentlichen Ausschreibung mit der Aufgabe der Erstellung der Projektionsdaten beauftragt worden. Allerdings hatte die Erstellung in der Vergangenheit eine andere Zielsetzung, da damit ausschließlich die Berichtspflichten der Bundesregierung gegenüber der EU und dem Klimasekretariat der Vereinten Nationen verbunden waren. Insofern war das genannte Kriterium nicht in dem Maße relevant, da das Ergebnis keine Handlungsfolgen der Bundesregierung nach sich zog. Die aktuelle Ausschreibung läuft für eine Frist von drei Jahren, also kürzer als beispielsweise für die Besetzung unabhängiger Gremien wie dem Sachverständigenrat zur Begutachtung der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung oder dem Expertenrat für Klimafragen. Die Ausschreibungsfrist erscheint aus Sicht möglicher Neuanbieter*innen sehr kurz. Investitions- und Entwicklungskosten werden für Neuanbieter*innen nicht gesondert finanziert.



Anforderungs-kriterium	Beurteilung heutigen Vorgehens	Begründung
Unabhängige Setzung von Annahmen	Teilweise gegeben	Die Festlegung von Instrumenten („Maßnahmen“), Rahmendaten und sonstiger Parameter wurde im Rahmen der Ermittlung der Projektionsdaten 2024 durch einen mehrstufigen Prozess bearbeitet, an dem sowohl die Bundesregierung als auch das Forschungskonsortium beteiligt waren. Hierzu stellten die Ressorts u. a. Annahmen zu den von dem Forschungskonsortium zu modellierenden Maßnahmen (wie z. B. zur finanziellen Ausstattung der BEG) und Rahmendaten (wie z. B. zur wirtschaftlichen Entwicklung) bereit, wobei wesentliche Rahmendaten, z. B. zur Bevölkerungsentwicklung dabei von Prognosen Dritter übernommen wurden (siehe Kapitel 3.3.1). Darüber hinaus kam es nach Aussagen des Forschungskonsortium und des Umweltbundesamtes zu einem mehrstufigen Abstimmungsprozess zwischen den Ressorts, dem Umweltbundesamt und dem Konsortium sowie dem Thünen-Institut zum gesamten Datensatz der Modellierung, einschließlich der zu berechnenden Sensitivitäten. Ausweislich der aktuellen Leistungsbeschreibung ist keine substanzielle Veränderung des bisherigen Vorgehens vorgesehen.
Kriteriengestützte Setzung von Annahmen: Modellparameter	Nicht vorgesehen	Nach Auskunft des Umweltbundesamts wird der erstellte Emissionspfad als „ein mögliches Szenario“ qualifiziert. Damit ist die einzige Bedingung, die an die Auswahl der Annahmen gestellt wird, deren Möglichkeit. Da die Unmöglichkeit bestimmter zukünftiger Parameterrealisierungen in der Regel schwerlich nachgewiesen werden kann, ergibt sich ein weiter Korridor für die Festlegung von Annahmen. In den mündlichen Ausführungen haben Auftraggeber und Forschungskonsortium dabei häufig den Begriff „realistisch“ verwendet, ohne diesen allerdings zu definieren und diese Definition einheitlich über den gesamten Datenkranz anzuwenden. Ausweislich der aktuellen Leistungsbeschreibung ist keine substanzielle Veränderung des bisherigen Vorgehens vorgesehen.
Kriteriengestützte Setzung von Annahmen: Maßnahmen	Teilweise gegeben	Für die berücksichtigten Instrumente liegt ein eindeutiges Kriterium vor: „Das Mit-Maßnahmen-Szenario (MMS) beinhaltet alle Klimaschutzinstrumente und -maßnahmen, die bis zum Stichtag 31. Juli 2023 bereits beschlossen und soweit implementiert sind, dass alle Daten und sonstigen Informationen, die für die Parametrisierung erforderlich sind, grundsätzlich vorliegen“ (UBA 2024k, S. 27). Wo sowohl möglich als auch gegeben, wurden für Parameter bis zum 31.10.2024 aktualisierte Daten verwendet. Allerdings werden die Annahmen zur Implementierung der Maßnahmen im Bericht uneinheitlich behandelt. Während manchen Maßnahmen eine vollständige und zeitgerechte Wirkung zugewiesen wird (z. B. dem EEG-Ausbaupfad), werden für andere Maßnahmen komplexe Wirkabschätzungen angestellt (z. B. der BEG). Innerhalb dieser Wirkabschätzungen muss wiederum eine Vielzahl von Annahmen getroffen werden (siehe auch ERK 2023a). Viele Annahmen sind im Rahmendatenpapier sowie im Instrumentenpapier dokumentiert. Der Expertenrat musste etliche weitere für die Zwecke der Prüfung relevante Annahmen nachträglich erfragen. Eine inhaltliche Begründung, wie und warum Annahmen jeweils getroffen wurden, liegt nicht in umfassend dokumentierter Form vor.

Anforderungs-kriterium	Beurteilung heutigen Vorgehens	Begründung
Kriteriengestützte Setzung von Annahmen: Sensitivitäten	Teilweise gegeben	Laut Umweltbundesamt orientiert sich die Entscheidung, für welche Rahmendaten eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt wird, zum einen an den Vorgaben im Rahmen der EU-Berichtserstattungspflichten und zum anderen an Fragestellungen, die zum Zeitpunkt der Erstellung von besonderem Interesse sind. Die Limitierung an möglichen Sensitivitätsuntersuchungen insgesamt ist zudem durch die zur Verfügung gestellten finanziellen Mittel stark begrenzt. Für die Auswahl und Ausgestaltung der variierten Entwicklungspfade ist kein einheitliches Vorgehen definiert (mündliche Auskunft Umweltbundesamt). Es wurde insbesondere darauf hingewiesen, dass die Entwicklungspfade in den Sensitivitätsanalysen keine Ober- oder Untergrenze der denkbaren Entwicklungspfade definieren, sondern einzelne alternative Entwicklungspfade darstellen, die auch plausibel erschienen. Ausweislich der aktuellen Leistungsbeschreibung ist keine substanzielle Veränderung des bisherigen Vorgehens vorgesehen.
Wissenschaftliche Überprüfung	Seit 2024 vorgesehen und weitgehend realisiert	Mit der Vorschrift aus § 12 Absatz 1 Satz 1 KSG nach Überprüfung des Berichts durch den Expertenrat hat der Gesetzgeber diesem Gedanken bereits Rechnung getragen. Die vorliegende Beauftragung mit einem Sondergutachten greift diese Vorgabe auf.[83] Allerdings gibt es Verbesserungsmöglichkeiten im Hinblick auf die Transparenz der an den Expertenrat übergebenen Informationen sowie den zeitlichen Ablauf.[84] Die in der neuen Leistungsbeschreibung vorgesehene Zweitmodellierung, also die Berechnung mit einem alternativen Modellansatz für die Sektoren Gebäude und Verkehr (UBA 2024f) stuft der Expertenrat als eine wichtige Verbesserung ein. Allerdings nimmt diese Zweitmodellierung ausweislich der Leistungsbeschreibung keinen Einfluss auf den projizierten Emissionspfad, sondern dient lediglich der verbesserten Einordnung der erhaltenen Ergebnisse und ist nur für die erste Modellierungsrunde 2025 vorgegeben.
Umfassende Transparenz	Bedingt gegeben	Der Prozess erfolgt nach Beauftragung intern zwischen der Bundesregierung, dem Forschungskonsortium und dem Thünen-Institut. Die öffentliche Dokumentation des Prozesses ist rudimentär, was für die zukünftige Zielsetzung nicht mehr ausreichend erscheint. Ausweislich der aktuellen Leistungsbeschreibung ist keine substanzielle Veränderung des bisherigen Vorgehens vorgesehen.

Eigene Darstellung.

[83] Darüber hinaus hat die Bundesregierung weitere Gutachter*innen (ifeu und Prognos) um Erstellung einer Einordnung der Projektionsdaten 2024 gebeten (Prognos und ifeu 2024). Eine weitere zusammenhängende Untersuchung der Projektionsdaten 2024 wurde von Agora Energiewende erstellt (Agora Energiewende 2024b).

[84] Für die Prüfung stehen dem Expertenrat laut Bundes-Klimaschutzgesetz zukünftig zwei Kalendermonate von Erhalt der Daten bis zur Veröffentlichung des Gutachtens zur Verfügung, in denen auch die ex-post-Berichterstattung für das vorausgegangene Jahr geprüft werden muss. Angesichts der Komplexität der Materie stellt dieser zeitlichen Rahmen eine erhebliche Herausforderung für den Expertenrat dar.



5.4 Hinweise und Empfehlungen

178 Tabelle 12 fasst mögliche Ansatzpunkte für eine Verbesserung des bisherigen Vorgehens bzgl. der Erfassung von Unsicherheit und Modellierung zusammen.

Tabelle 12: Ansatzpunkte für eine Verbesserung des methodischen Vorgehens

Zielsetzung	Ansatzpunkt	Erläuterung
Erfassung von Unsicherheit	Sensitivitäten	Die Anzahl der berechneten Sensitivitäten sollte deutlich erhöht werden. Zusätzlich sollten auch zukünftig Sensitivitäten für ausgewählte Parameter untersucht werden, z. B. solche, deren Variation innerhalb einer Wahrscheinlichkeitsanalyse zu aufwändig ist. In der Regel sollten hierfür Rechenläufe des Gesamtmodells herangezogen werden.
	Monte-Carlo	Für die Ermittlung von Wahrscheinlichkeiten wäre die Durchführung etlicher Rechenläufe eine Option, bei denen für wichtige Eingangsparameter Zufallswerte unter Maßgabe einer statistischen Verteilung angesetzt werden. Die Durchführung einer ausreichenden Anzahl an Rechenläufen würde dann zu einer Verteilung von Ergebnissen (Emissionspfaden) führen, die statistisch ausgewertet werden könnten und eine entsprechende Wahrscheinlichkeitsaussage zulassen („Monte-Carlo-Simulationen"). Hierbei gilt es jedoch zu berücksichtigen, dass die Verteilung zukünftiger Parameter ebenso mit deutlichen Unsicherheiten behaftet ist und somit auch Gefahr läuft eine Scheingenauigkeit darzustellen. Auch in diesem Fall sollten zukünftig zusätzlich Sensitivitäten für ausgewählte Parameter untersucht werden, z. B. solche, deren Variation innerhalb einer Wahrscheinlichkeitsanalyse zu aufwändig sind.
Robustheit der Ergebnisse	Zweitmodellierung, Modellvergleiche	Die Zweitmodellierung oder die Nutzung von Modellvergleichen (siehe dazu Flachsland et al. 2024) ist eine Möglichkeit, um die Größenordnung von Unsicherheiten zu erkunden. Während Sensitivitäten überwiegend die Unsicherheiten der modellexogenen Rahmendaten adressieren und nur in Einzelfällen auf modellendogene Parameter (wie Preiselastizitäten, was bisher noch nicht gemacht wird) Bezug nehmen, erhält man durch die Zweitmodellierung oder den Modellvergleich Einblick in die Größenordnung von unterschiedlichen modellendogenen Annahmen und die damit verbundenen Unsicherheiten.
Gesamt-wirtschaftliche Konsistenz	Modellerweiterung und -kopplung	Um bei der Ermittlung der Projektionsdaten wesentliche Wirkzusammenhänge wie Nachfrageentwicklung, Beschäftigungsimplikationen (Stichwort Fachkräftemangel) oder Änderungen relevanter Wertschöpfungsketten modellendogen abzubilden, könnte die Wechselwirkung der Sektoren des Bundes-Klimaschutzgesetzes um eine makroökonomische Modellierung erweitert und mit dieser gekoppelt werden. Grundsätzlich könnte dies entweder innerhalb eines in sich geschlossenen Gesamtmodells oder durch die Kopplung eines Makro-Modells mit sektoralen Einzelmodellen erfolgen.
Innere Konsistenz	Endogenisierung	Der Expertenrat empfiehlt die weitere Endogenisierung wichtiger modellinterner Wechselwirkungen, insbesondere mit Blick auf Energiepreise und Produktionsmengen.
	Umsetzungs-voraussetzungen	Der Expertenrat empfiehlt die verstärkte Berücksichtigung von wichtigen Umsetzungsvoraussetzungen, insbesondere im Bereich der Energie-



Zielsetzung	Ansatzpunkt	Erläuterung
		Infrastruktur sowie der angenommenen Verfügbarkeit von Energieträgern (Wasserstoff und Derivate, Biomasse).
	Abbildung Rahmendaten	Zur Vermeidung bzw. Verringerung möglicher Inkonsistenzen könnten zentrale exogen angenommene Rahmendaten einer konsistenten Vorab-Modellierung unterworfen werden.
Transparenz: Modell	Open Source; gute Dokumentation	Die größtmögliche Transparenz im Bereich der Modellierung wäre bei der Verwendung von Open-Source-Modellen gegeben. Sofern dies nicht möglich ist, bedarf es einer guten Dokumentation wesentlicher Modellierungsverfahren, Funktionalitäten und Rechenwege aller verwendeten Teil- und Gesamtmodelle.
Transparenz: Annahmen	Maßnahmen-dokumentation	Der Expertenrat sieht es als zielführend an, für die eingehenden Rahmendaten, die implementierten Maßnahmen und die Ergebnisdaten eine möglichst übersichtliche, vollständige, nachvollziehbare und der Öffentlichkeit zugängliche Dokumentation sicherzustellen.

Eigene Darstellung.

179 Dem Expertenrat ist bewusst, dass die Umsetzung einzelner oder aller genannten Ansatzpunkte im derzeit gewählten Berichtsansatz eine erhebliche Herausforderung für jedwedes zu beauftragende Forschungskonsortium darstellen würde. Gleichzeitig hält er die mit diesen Punkten verfolgten Zielsetzungen für wichtig vor dem Hintergrund der Anforderung, die sich aus der Nutzung der Projektionsdaten im Kontext des novellierten Bundes-Klimaschutzgesetzes ergeben – nämlich als Auslösekriterium für politisches Handeln zur Entwicklung zusätzlicher klimapolitischer Maßnahmen zu dienen. Grundvoraussetzung für eine Umsetzung der zukünftigen Erstellung der Projektionsdaten im dargestellten Sinne ist eine angemessene Mittelausstattung für die Durchführung der Arbeiten.

180 Sollten diese Anforderungen sich nicht, oder nur schwerlich, mit dem Verfahren zur Projektionsberichterstattung nach EU-Governance-Verordnung und Berichtspflichten an die Vereinten Nationen vereinbaren lassen, könnte der Gesetzgeber abweichend von § 5a KSG die Erstellung von Projektionsdaten für das Bundes-Klimaschutzgesetz von der internationalen Berichterstattung entkoppeln. Wenn der Detailgrad der Emissions- und Maßnahmenbetrachtung reduziert werden würde, könnte im Gegenzug beispielsweise der Modellrahmen auf die Gesamtwirtschaft erweitert, eine höhere Anzahl von Wechselwirkungen berücksichtigt oder Wahrscheinlichkeiten explizit betrachtet werden. Für eine solche Entkopplung spräche auch die unterschiedliche Zeitskala: beim Bundes-Klimaschutzgesetz geht es um die Ergreifung kurzfristiger Maßnahmen wegen zu erwartender kurz- bis mittelfristiger Zielverfehlung, bei den Berichtspflichten geht es um langfristige Projektionen. Zudem spielt aus Sicht des Expertenrates das Gesamtbild der klimapolitischen und wirtschaftlichen Entwicklung für die Anforderung im Kontext des Bundes-Klimaschutzgesetzes eine wichtigere Rolle, während es bei der Berichterstattung nach EU Governance-Verordnung insbesondere auf die Detailgenauigkeit in der Maßnahmenabbildung ankommt.

181 Tabelle 13 fasst mögliche Ansatzpunkte für eine Verbesserung der Governance bei der Erstellung der Projektionsdaten zusammen.



Tabelle 13: Ansatzpunkte für eine Verbesserung der Governance

Zielsetzung	Ansatzpunkt	Erläuterung
Unabhängige Beauftragung	Anpassung § 5a KSG	Auftragserteilung könnte regierungsunabhängig erfolgen (siehe hierzu auch Müller 2023, S. 6 f).
	Längere Laufzeit	Die Laufzeit der Beauftragung könnte von drei auf fünf Jahre verlängert werden.
	Einschränkung hinsichtlich Wiederbeauftragung	Es könnten Regeln zur Begrenzung der Anzahl von Wiederbeauftragungen eingeführt, bspw. höchstens einmalig mit Sperrfrist analog zur EU-Verordnung über spezifische Anforderungen an die Abschlussprüfung bei Unternehmen von öffentlichem Interesse (EU 2014, S. 77-112).
	Breiteren Wettbewerb aktiv befördern	Eine besondere Herausforderung der hier zu erbringenden Dienstleistung besteht in der hohen Spezifizität des erforderlichen Wissens und des benötigten Modellinstrumentariums. Insbesondere bestimmt die EU-Governance-Verordnung in Artikel 18 Abs. 1, dass die entsprechenden Berichte die THG-Emissionen nach der differenzierten Struktur der Treibhausgasinventare ausweisen, und in dieser Struktur alle Maßnahmenwirkungen je einzeln erfassen können. Durch diese Vorgabe ist eine hohe Spezialisierung und Komplexität der Modellierung vorschattiert. Die hohen Entwicklungskosten für den Aufbau dieser sehr spezifischen, sinnvoll fast nur im Kontext von Regierungsaufträgen einsetzbaren Kompetenzen begrenzen den Wettbewerb in erheblichem Maße. Wettbewerbsstärkende Maßnahmen wie die Budgetierungsfähigkeit der Entwicklungskosten in der Leistungsbeschreibung könnten die Wettbewerbsintensität und damit die Unabhängigkeit des Konsortiums deutlich steigern. Eine Verminderung um spezifische Anforderungen durch Trennung der Bundes-Klimaschutzgesetz-Berichterstattung von internationaler Berichterstattung würde dieses Ziel unterstützen.
	Rolle des Umwelt-bundesamts	Das Umweltbundesamt könnte ausschließlich als Betreuungsinstanz für das beauftragte Gremium fungieren, nicht aber in die inhaltlichen Arbeiten eingebunden zu werden.
Unabhängige Setzung von Annahmen	Klare Vorgaben	Der Austausch zwischen Bundesregierung und Forschungskonsortium zu den Annahmen der Modellierung sollte sich nach Ansicht des Expertenrats auf einen engen, durch ein eindeutiges Kriterium bezeichneten Ausschnitt der Rahmendaten und Parameter beschränken, beispielsweise auf „von der Bundesregierung unmittelbar beeinflussbare" Annahmen.
	Prüfung	Der Expertenrat sieht die Einsetzung eines unabhängigen, wissenschaftlichen Gremiums für die Diskussion und Festlegung von Rahmendaten, Annahmen sowie die Festlegung der zu rechnenden Varianten, Szenarien und Sensitivitäten als Ziel führend. Die Ermittlung von Wahrscheinlichkeitsaussagen verstärkt die Sinnhaftigkeit eines solchen Gremiums. Dieses Gremium kann nicht der Expertenrat für Klimafragen sein, da dies die Unabhängigkeit seiner Prüfung beeinträchtigen könnte.
Kriteriengestützte Auswahl	Festlegung	Der Expertenrat empfiehlt die weitere Spezifizierung von qualitativen Kriterien für den zu ermittelnden Emissionspfad, insbesondere hinsichtlich der zugehörigen Eintrittswahrscheinlichkeit. Dieses Kriterium sollte konsistent bei der Begründung der Auswahl sämtlicher Parameter durchgehalten werden.
	Sensitivitäten	Die Auswahl von zu rechnenden Sensitivitäten sollte einem wohldefinierten Prozess unterliegen.

Zielsetzung	Ansatzpunkt	Erläuterung
Überprüfung	Einbindung Expertenrat	Getroffene Annahmen und deren Begründung sollten unmittelbar nach Festlegung dem Expertenrat bekanntgegeben werden. Dabei sollte der Umfang und Detailgrad gegenüber dem Vorgehen zum 15.03.24 in verschiedener Hinsicht erhöht werden.
	Zweitmodellierung	Zweitmodellierung erhöht die Robustheit von Ergebnissen. Der Expertenrat befürwortet die Ausdehnung ihrer Anwendung über die Sektoren Gebäude und Verkehr hinaus, beispielsweise für die Gesamtmodellierung oder auch im Bereich der Nachfragemodelle. Auch hier ist ein wohldefinierter Prozess erforderlich, um zu entscheiden, ob und an welchen Stellen wofür eine Zweitmodellierung durchgeführt werden soll und welche Rolle ihr zukommt.
Transparenz	Kommunikation	Über den Prozess könnte auch zu anderen Meilensteinen als der Fertigstellung (15.03. eines Jahres) berichtet werden. Anders als im Jahr 2024 könnte zum 15.03. bereits der vollständige Bericht samt Dokumentation veröffentlicht werden.

Eigene Darstellung.

182 Dem Expertenrat ist bewusst, dass einige der genannten Ansatzpunkte von der soeben verabschiedeten Novelle des Bundes-Klimaschutzgesetzes in Teilen abweichen. Der Expertenrat empfiehlt der Bundesregierung, in der Umsetzung der Vorgaben aus dem neuen Bundes-Klimaschutzgesetz bestehende Gestaltungsmöglichkeiten im Sinne der hier gemachten Anregungen zu prüfen, und empfiehlt dem Gesetzgeber, diese Punkte bei der nächsten Novellierung des Gesetzes zu berücksichtigen.

183 Ferner sind einige der aufgeworfenen Handlungsoptionen nicht kongruent mit der Leistungsbeschreibung der aktuell laufenden Ausschreibung für die Berichterstellung im Zeitraum 2025-2027. Gleichzeitig besteht für die Erstellung des Berichts für das Jahr 2025 ein erheblicher Zeitdruck. Der Expertenrat regt an, dass die Bundesregierung prüft, ob diese Ausschreibung bzw. die nachfolgende Beauftragung insofern modifiziert werden kann, dass diese nur für das Jahr 2025 gemäß der aktuellen Leistungsbeschreibung vergeben werden kann. Damit wäre die Zeitabfolge für das Jahr 2025 sichergestellt und zugleich wäre ausreichend Zeit vorhanden, um parallel die Vergabe für die Jahre 2026-2030 neu, und mit längerer Ausschreibungsfrist, auszuschreiben.



6 Verantwortlichkeit und Rollen in der Umsetzung des Bundes-Klimaschutzgesetzes

184 Die gesetzliche Regelung vor der jüngsten Novelle des Bundes-Klimaschutzgesetzes 2024 sah für den Fall einer festgestellten Zielüberschreitung eine eindeutige Handlungsverantwortung bei den Ressorts vor, die die durch das Gesetz in dem Betrachtungsjahr vorgegebene maximale Jahresemissionsmenge überschritten haben. Mit der Novelle des Bundes-Klimaschutzgesetz ist diese Verantwortung nun auf die Bundesregierung als Ganze überführt worden, ohne spezifisch auszuweisen, wer in der Bundesregierung die „Federführung" innehat.

185 Der Expertenrat hat bereits in der Vergangenheit darauf hingewiesen, dass er ein solches Vorgehen kritisch sieht. Insbesondere bestehe die Gefahr, dass die fehlende Verantwortlichkeit innerhalb der Bundesregierung, die Abstimmungsprozesse zu klimapolitischen Maßnahmen in einem deutlich höheren Maße partikularen Interessen einzelner Ressorts aussetzt. Hierzu hat der Expertenrat bereits im Prüfbericht 2023 ausgeführt: „Eine Aufweichung der Ressortverantwortung erhöht die Gefahr des Verharrens in angestammten technologischen Pfaden (beispielsweise bei Verkehr und Gebäude) und weist so auch erhebliche industriepolitische Gefahren auf“ (ERK 2023b, Tab.9).

186 Die verabschiedete Novelle des Bundes-Klimaschutzgesetzes trägt diesen Bedenken insofern Rechnung, als dass im Auslösefall „alle zuständigen Bundesministerien, insbesondere diejenigen, in deren Zuständigkeitsbereich die Sektoren liegen, die zur Überschreitung beitragen, innerhalb von drei Monaten [...] Vorschläge für Maßnahmen in den jeweiligen ihrer Verantwortlichkeit unterfallenden Sektoren“ vorlegen. „Die Vorschläge können auch sektorenübergreifende Maßnahmen enthalten“ (§ 8 Abs. 2 KSG). Dennoch bleibt die Frage nach den hinreichenden Anreizen für die entsprechenden Ministerien, sich mit weit reichenden Vorschlägen an diesem Prozess zu beteiligen. Eine extreme Form solcher Anreize würde bspw. der im Rahmen der Anhörungen vorgebrachte Vorschlag darstellen, dass die für die das Klimaziel verfehlenden Ressorts oder die für alle Ressorts zur Verfügung stehenden Haushaltsmittel automatisch bis zur Erarbeitung eines Maßnahmenpakets eingefroren werden (Müller 2023, S. 15).

187 Zudem fehlt eine klare Gesamtverantwortung für den Prozess. So wurde im Rahmen der Sachverständigenanhörung beispielsweise vorgeschlagen, dass das Bundeskanzleramt die Gesamtverantwortung übernehmen könnte (Deutscher Bundestag 2023, S. 16). Eine weitere Option wäre es, das Klimakabinett zu reaktivieren und mit dieser Aufgabe zu betrauen (siehe oben RZ 153, sowie allgemein zur möglichen Rolle des Klimakabinetts in der Steuerung der Klimapolitik in Abschnitt 3 in Flachsland et al. (2021)).

188 Insgesamt empfiehlt der Expertenrat der Bundesregierung, den Prozess zwischen Feststellung der Notwendigkeit von Maßnahmen durch Anwendung von § 8 Abs. 1 Satz 1 KSG und dem entsprechenden Beschluss rasch auf dem Verordnungswege zu spezifizieren, spätestens bis zum 15.05.2025.

7 Anhang

A.1 Einleitung

Tabelle A 1: Wesentliche Änderungen durch die Novelle des Bundes-Klimaschutzgesetzes

Gesetzliche Änderung (alle § nach KSG 2024)	Regelung im KSG 2021	Regelung im KSG 2024
Grundlage der klimapolitischen Beurteilung § 2 Abs. 10, § 5a	• Ergebnisse basieren auf sektoralen ex-post Vorjahresdaten	• Ergebnisse basieren auf den ex-ante Projektionsdaten im Budget für die Jahre bis zum nächsten Zieljahr in Summe über alle Sektoren (ohne LULUCF) und den ex-post Ist-Werten des Ausgangsjahres der Projektionsdaten • Einführung der Werte für technische Senken für die Jahre 2035, 2040, 2045
Ziel der klimapolitischen Steuerung § 4 Abs. 1, § 4 Abs. 5, § 5 Abs. 8, § 5a	• Ziel basiert auf sektoralen Jahresemissionsmengen • Ziel ist die Einhaltung des jeweiligen THG-Emissionsbudgets für die Jahre 2021 bis 2030 in den Sektoren	• Ziel ist die Einhaltung des sektorenübergreifenden THG-Emissionsbudgets (Summe der Jahresemissionsgesamtmengen nach Anlage 2 i.V.m. § 4 Abs. 2) für die Jahre 2021 bis 2030. • Der THG-Emissionszielpfad ist im Gesetz bis 2040 jahresscharf definiert. • Die Zielfestlegung der Jahresemissionsmengen der einzelnen Sektoren sind im Jahr 2024 für die Jahre 2031 bis 2040 und im Jahr 2034 für die Jahre 2031 bis 2045 festzulegen. • Sektorale Jahresemissionsziele werden bis 2030 weiterhin ohne maximale THG-Emissionswerte für den Energiesektor berichtet. • 2028 soll die Notwendigkeit von sektoralen Jahresemissionsmengen ab 2031 im Rahmen von EU-ETS geprüft werden.
Steuerungsmechanismus § 5 Abs. 2, § 8 Abs. 1, § 8 Abs. 2, § 8 Abs. 4	• Nachsteuerung über sektorale Jahresemissionsmengen der ex-post Vorjahresdaten • Bei Verfehlung innerhalb von 3 Monaten Sofortprogramme durch überschreitende Ressorts zu erarbeiten und durch die Bundesregierung schnellstmöglich zu beschließen	• Nachsteuerung über ex-ante Jahresemissionsgesamtmenge bei Verfehlung des Zieljahrwertes in 2 aufeinander folgenden Jahren • Bei zweimaliger Verfehlung müssen die Ressorts innerhalb von 3 Monaten Vorschläge zur Nachsteuerung vorlegen und die Bundesregierung diese innerhalb des Kalenderjahrs der zweiten Verfehlung beschließen.



Gesetzliche Änderung (alle § nach KSG 2024)	Regelung im KSG 2021	Regelung im KSG 2024
Anforderung für ein neues Klimaschutzprogramm § 9 Abs. 1	• Keine Regelung	• Innerhalb von 12 Monaten nach Beginn der Legislaturperiode ist die Bundesregierung verpflichtet ein neues Klimaschutzprogramm aufzulegen • Dies kann die Anforderung einer Nachsteuerung im Verfehlungsfall ersetzen
Anpassung des THG-Emissionsbudgets § 4 Abs. 2; § 5 Abs. 2 Satz 2	• Über- und Unterschreitungen der Zielwerte für die Jahre 2021 – 2030 werden auf Basis von ex-post Vorjahresdaten mit Verteilung über die verbleibenden Jahre bis zum Zieljahr 2030 auf die sektoralen Jahresemissionsmengen angerechnet. • Die Anpassung von Zielwerten über Zieljahresperioden (2021-2030, 2031-2040, 2041-2045) ist nicht geregelt.	• Über- und Unterschreitungen der Zielwerte für Jahresgesamtemissionen wie auch die sektoralen Jahresemissionen werden auf Basis der Vorjahresdaten mit Verteilung über die verbleibenden Jahre bis zum nächsten Zieljahr (2030, 2040, 2045) angerechnet. • Die Anpassung von Zielwerten über Zieljahresperioden (2021-2030, 2031-2040, 2041-2045) ist weiterhin nicht geregelt.
Verantwortung für Einhaltung der Emissionszielwerte über staatliche Nachsteuerung § 8 Abs. 1, § 8 Abs. 4	• Bundesministerium mit Vorjahresverfehlung der sektoralen Jahresemissionsmenge	• Bundesregierung mit Unterstützung insbesondere der verfehlenden Ressorts
Verzahnung mit europäischem Recht § 4 Abs. 6	• Keine Regelung	• Ende Juni 2024 hat die Bundesregierung einen Vorschlag für Übergang von nationalem BEHG zu EU-ETS vorzulegen.
Verzahnung mit europäischem Recht ESR-Regelung § 7 Abs. 4	• Keine Regelung	• Bundesregierung muss bei Überschreiten der Jahresemissionsmengen der ESR-Sektoren: (1) innerhalb von einem Monat dem Deutschen Bundestag einen Bericht vorlegen; (2) einen Plan für Abhilfemaßnahmen innerhalb von 3 Monaten entwickeln und vorlegen.
Neue Aufgaben für den Expertenrat für Klimafragen § 12 Abs. 1, § 12 Abs. 7	• Keine Regelung	• Prüfung der Projektionsdaten und Darstellung der sektoralen und Jahresgesamtemissionsmenge im Vergleich zu den Jahresemissionsmengen nach Anlage 2a • Prüfung der sozialen Verteilungswirkung, der Wirtschaftlichkeit und Wirksamkeit der Klimaschutzmaßnahmen • Zusätzlich Prüfung der Einhaltung der Anforderungen aus europäischer Effort Sharing Regulation
Optionale zusätzliche Aufgaben ERK § 12 Abs. 5	• Keine Regelung	• Erstellung von Gutachten zur Weiterentwicklung der Klimaschutzmaßnahmen

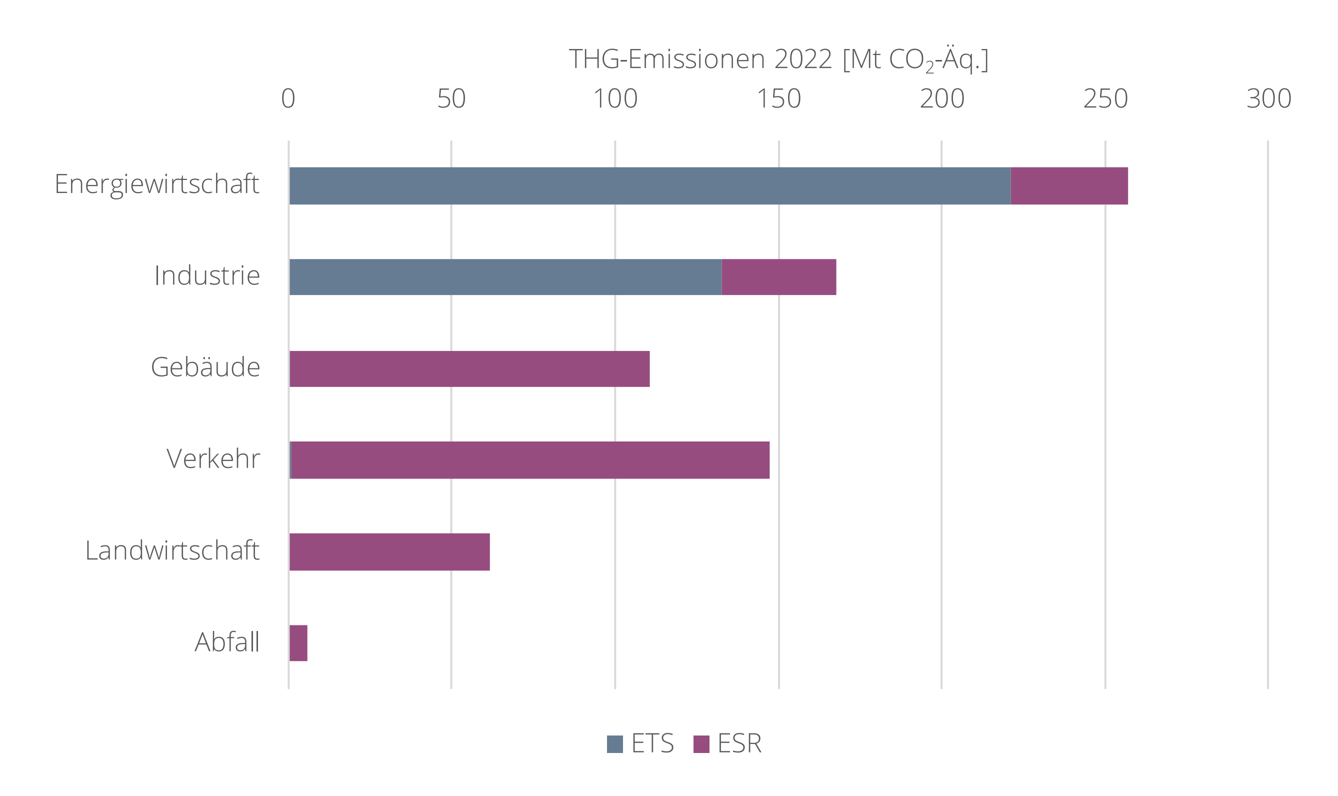
Eigene Darstellung.



A.2 Prüfung der Projektionsdaten ohne LULUCF für den Zeitraum 2021-2030

A.2.1 MMS-Szenario

Abbildung A 1: Aufteilung der THG-Emissionen für das Jahr 2022 in den KSG-Sektoren, die unter den Europäischen Emissionshandel (EU-ETS) und die Europäische Lastenteilung fallen



Eigene Darstellung. THG-Emissionen für das Jahr 2022. Basierend auf UBA (2024a).



A.2.2 Sensitivitäten

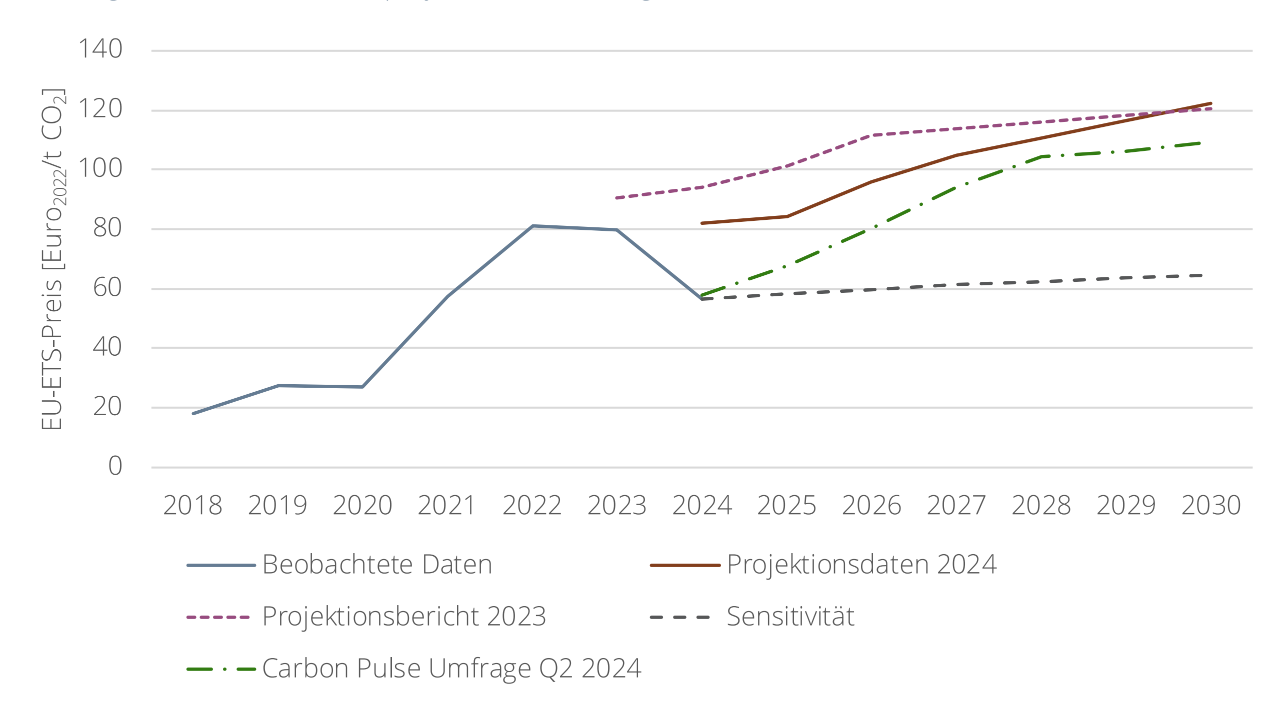
Tabelle A 2: Annahmen in den Sensitivitätsanalysen im Vergleich zum MMS

Sensitivität	Prozentuale Abweichung der Annahmen in den Sensitivitätsanalysen gegenüber dem MMS [%]						
	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Höheres Bruttoinlandsprodukt	-0,8	-1,2	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,4
Niedrigeres Bevölkerungswachstum	0	-0,3	-0,4	-0,6	-0,8	-0,9	-1,2
Höheres Bevölkerungswachstum	0,4	0,5	0,7	0,8	1,0	1,2	1,3
Veränderter Erdgas-Preis	-43,7	-35,5	-17,1	-1,9	6,2	17,5	31,6
Höherer Rohöl-Preis	9,2	18,0	26,2	33,6	39,6	44,2	47,7
Niedrigerer EU-ETS-Preis	-31,0	-30,8	-37,8	-41,5	-43,6	-45,5	-47,3
Höherer EU-ETS-Preis	0*	0	0	0	0	0	0
Produktionsmengen der Industrie-Herstellung von Papier, Pappe und Waren daraus	0	-2	-5	-7	-9	-9	-9
Produktionsmengen der Industrie-Herstellung von chemischen Erzeugnissen	-1	-4	-6	-8	-9	-9	-9
Produktionsmengen der Industrie-H.v.Glas,-waren,Keramik,Verarb. v. Steinen u. Erden	0	-2	-5	-7	-15	-15	-15
Produktionsmengen der Industrie-H.v.Glas,-waren,Keramik,Verarb. v. Steinen u. Erden	-2	-4	-6	-9	-9	-9	-9
Attentismus beim Heizungstausch – Verlängerte Lebensdauer**	10/20	10/20	10/20	10/20	10/20	10/20	10/20
Begeisterung für Wärmewende – Reduzierte Lebensdauer**	-5/-10	-5/-10	-5/-10	-5/-10	-5/-10	-5/-10	-5/-10

Eigene Darstellung. Daten basieren auf UBA (2024i) und EU (2024g). * Für das Sensitivitätsszenario „höherer EU-ETS-Preis" wird der Preispfad erst nach 2030 verändert. Emissionsminderungen ergeben sich aus der Modellierung von Perfect Foresight und Förderbudget-Verschiebungen. **Für die Sensitivitäts-Szenarien „Attentismus beim Heizungstausch" und „Begeisterung für die Wärmewende" werden jeweils zwei verschiedene Annahmen zur Veränderung der Lebensdauer von Heizungen betrachtet, die hier beide angegeben sind.



Abbildung A 2: Historische und projizierte Entwicklung des EU-ETS-Preis und Sensitivität

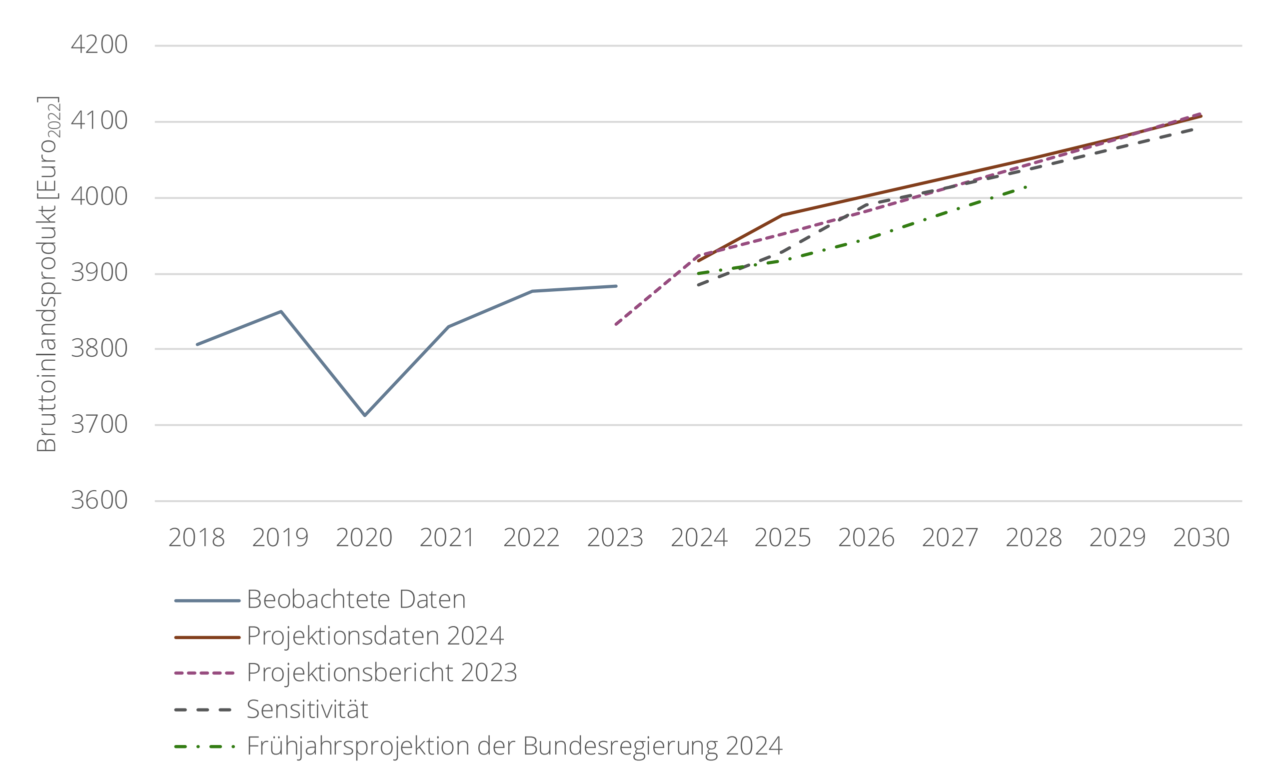


Eigene Darstellung. Daten basieren auf investing.com (2024), UBA (2024j), Mendelevitch et al. (2022), EU (2024g) und Carbon Pulse (2024).



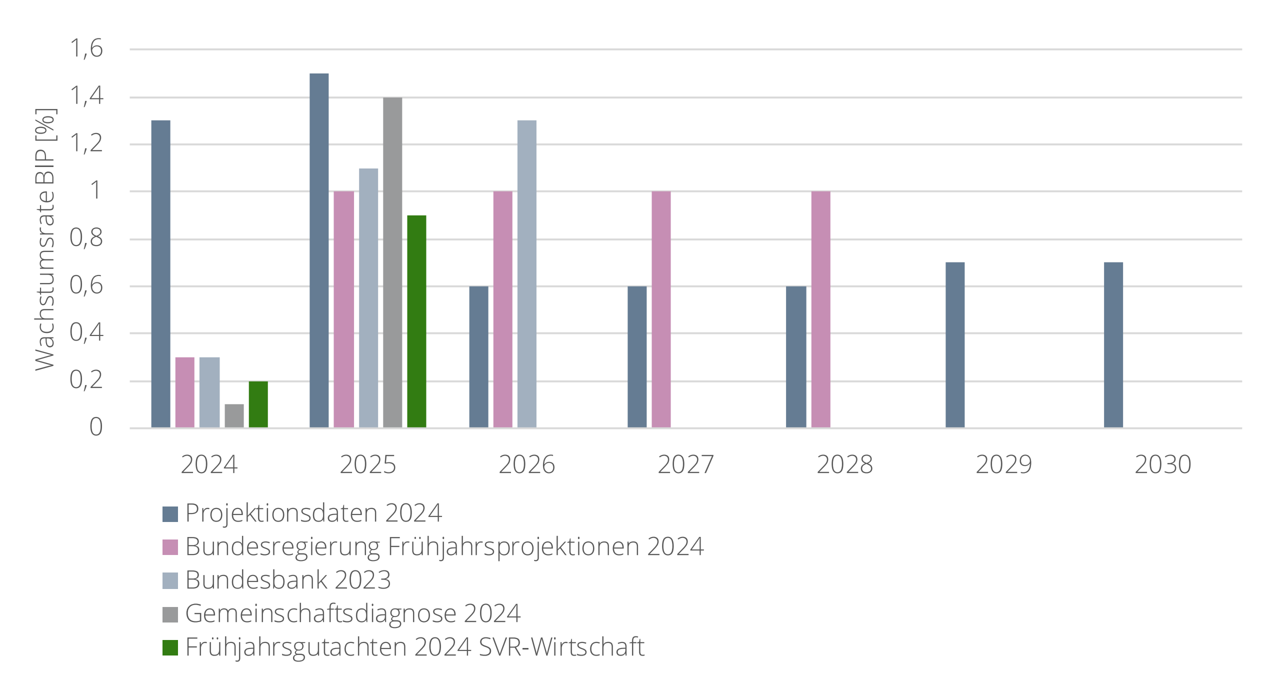
A.2.3 Sektorenübergreifende Rahmendaten

Abbildung A 3: Historische und projizierte Entwicklung des Bruttoinlandsprodukts und Sensitivität



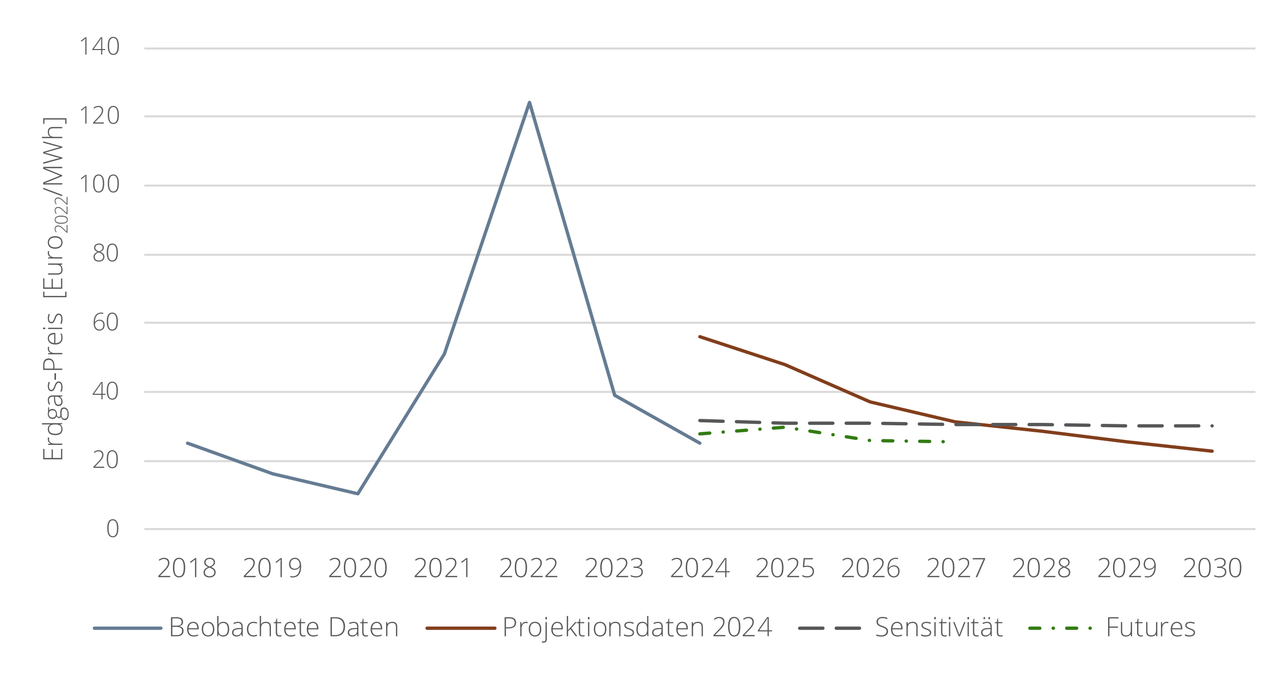
Eigene Darstellung. Daten basieren auf Destatis (2024e), UBA (2024j), Mendelevitch et al. (2022) und BMWK (2024).

Abbildung A 4: Vergleich des projizierten Wirtschaftswachstums der Projektionsdaten 2024 und aktueller Studien



Eigene Darstellung. Daten basierend auf UBA (2024j), BMWK (2024), Bundesbank (2023), Projektgruppe Gemeinschaftsdiagnose (2024) und SVR Wirtschaft (2024).

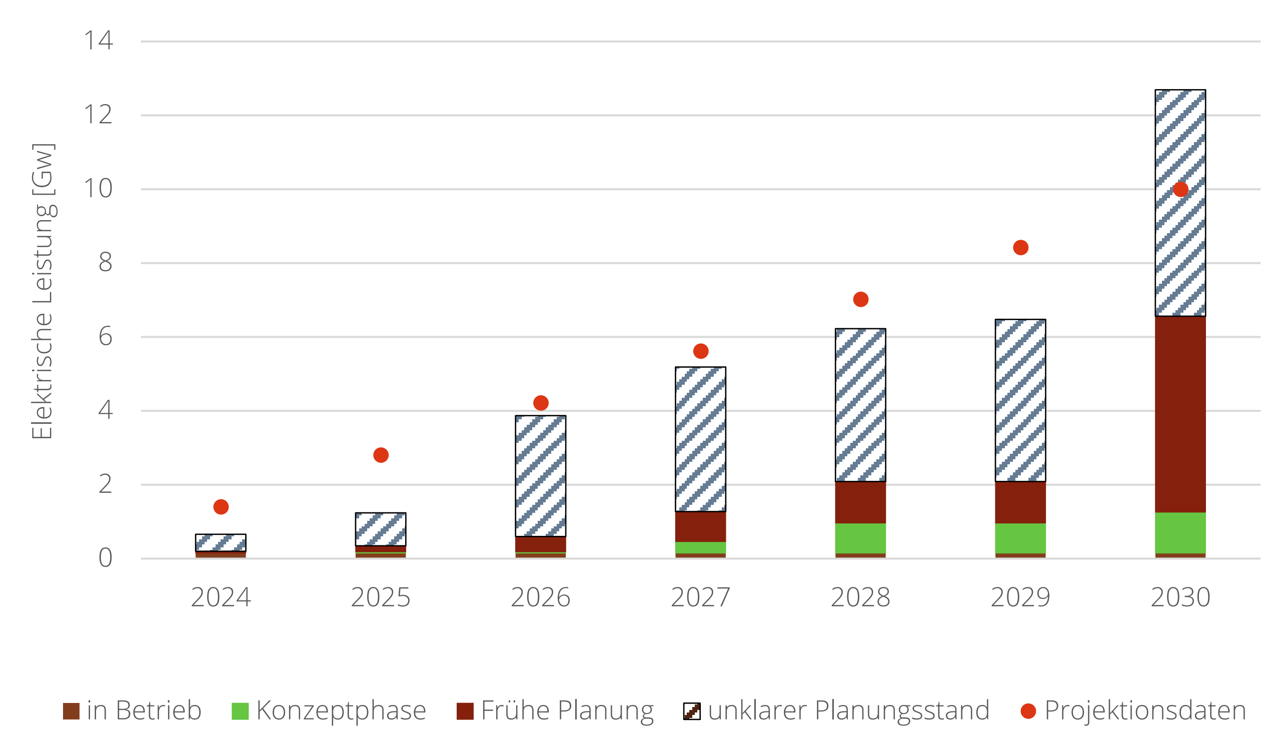
Abbildung A 5: Historische und projizierte Entwicklung der Erdgaspreise und Sensitivität



Eigene Darstellung basierend auf UBA (2024e) und EEX (2024).



Abbildung A 6: Angekündigte Elektrolyseprojekte und Entwicklung der Elektrolysekapazität in den Projektionsrahmendaten

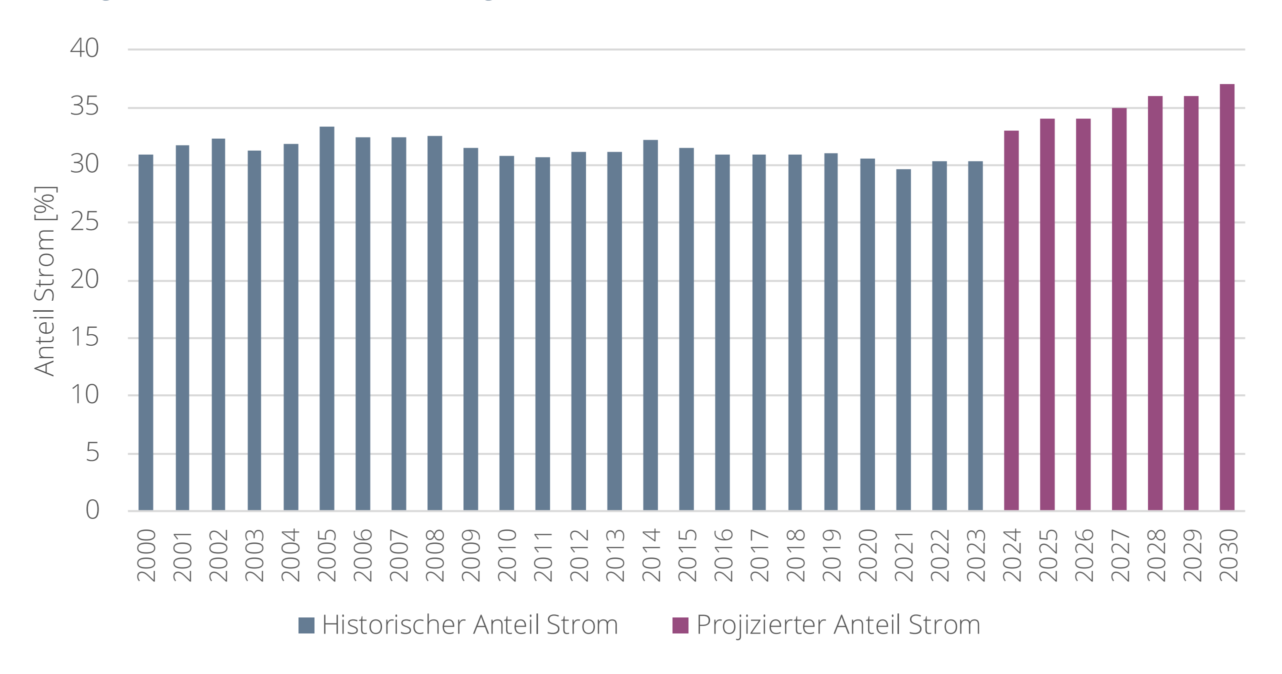


Eigene Darstellung. Basierend auf acatech und DECHEMA (2024).

A.2.4 Sektorspezifische Annahmen

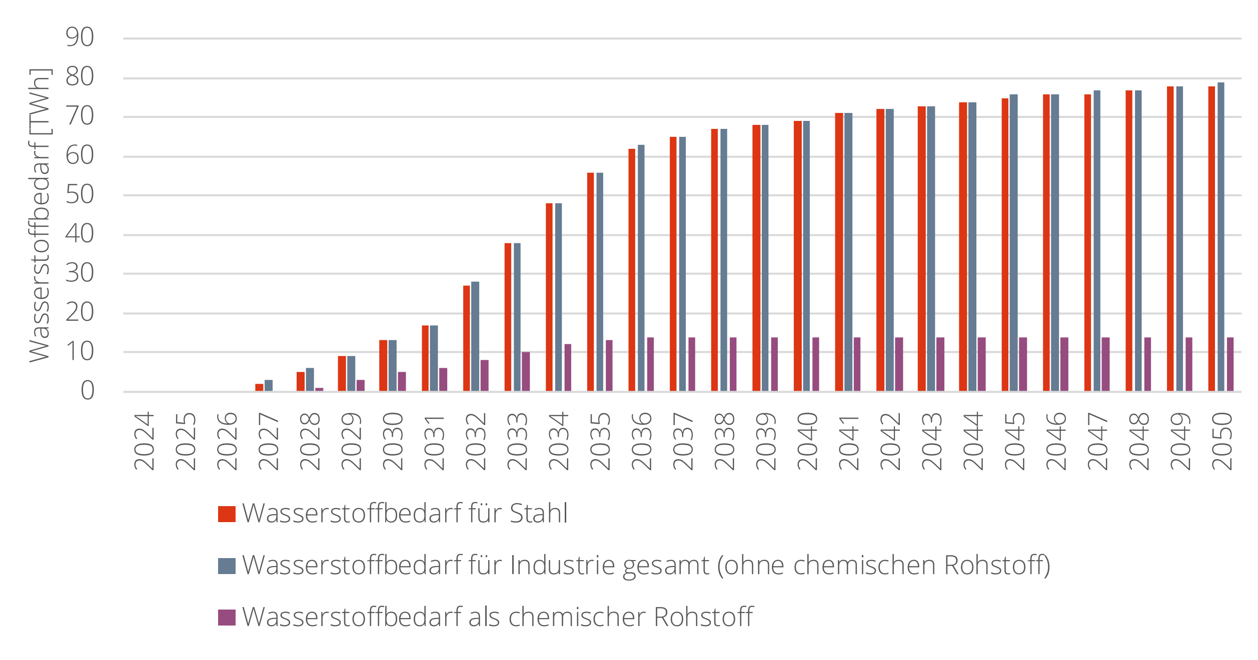
A.2.4.1 Industrie

Abbildung A 7: Anteil Strom am Endenergieverbrauch im Sektor Industrie



Eigene Darstellung. Basierend auf AGEB (2023), AGEB (2024) und UBA (2024e). Historische Daten von 2000 bis 2023 sind in blau und projizierte Daten von 2024 bis 2030 in lila dargestellt.

Abbildung A 8: Hochlauf Wasserstoffbedarf in der Industrie

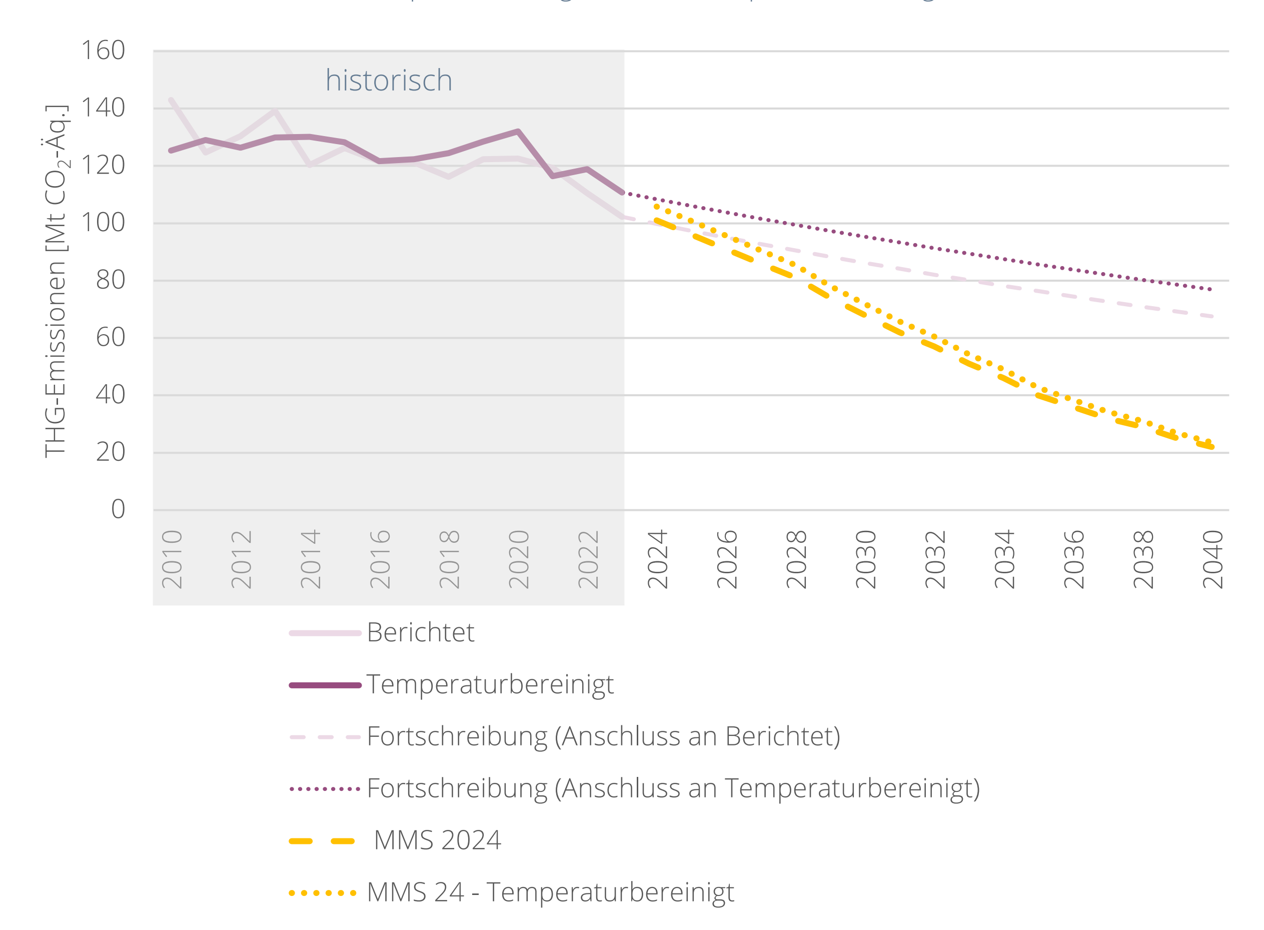


Eigene Darstellung. Basierend auf UBA (2024e).



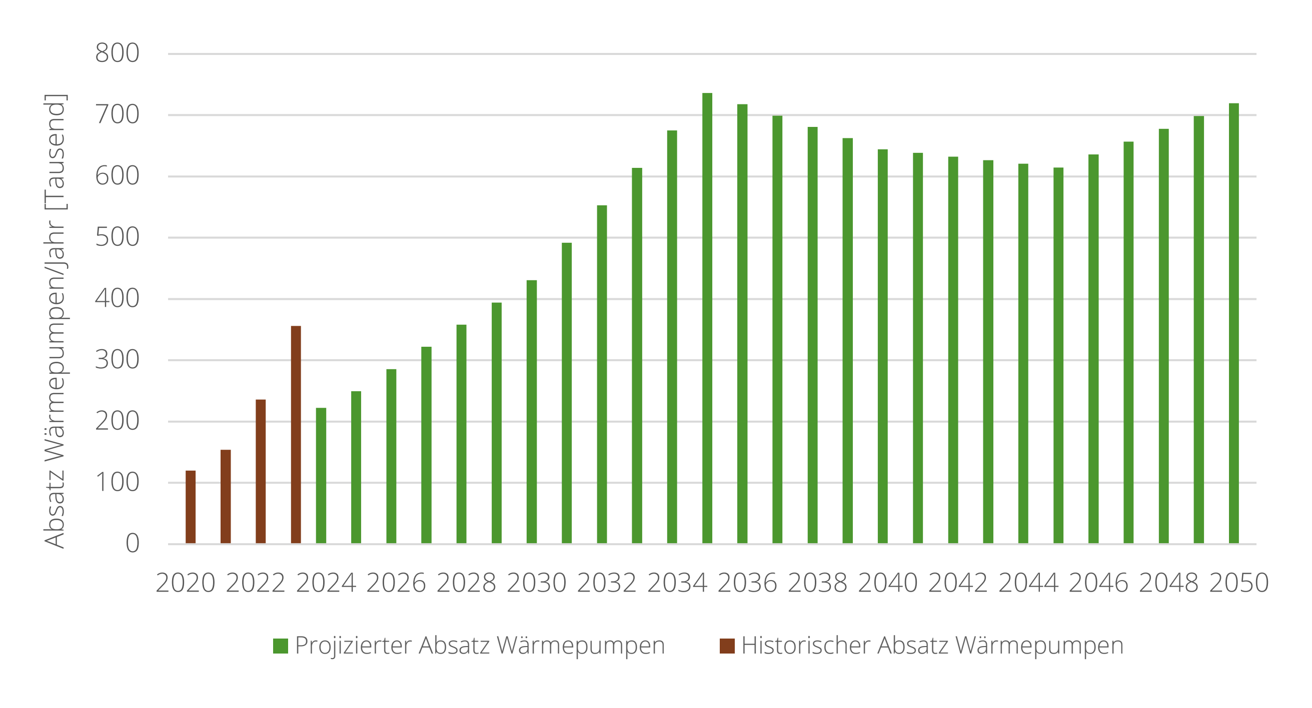
A.2.4.2 Gebäude

Abbildung A 9: Historische und fortgeschriebene (temperaturbereinigte) Entwicklung des Emissionspfads im Vergleich zum (temperaturbereinigten) MMS 2024



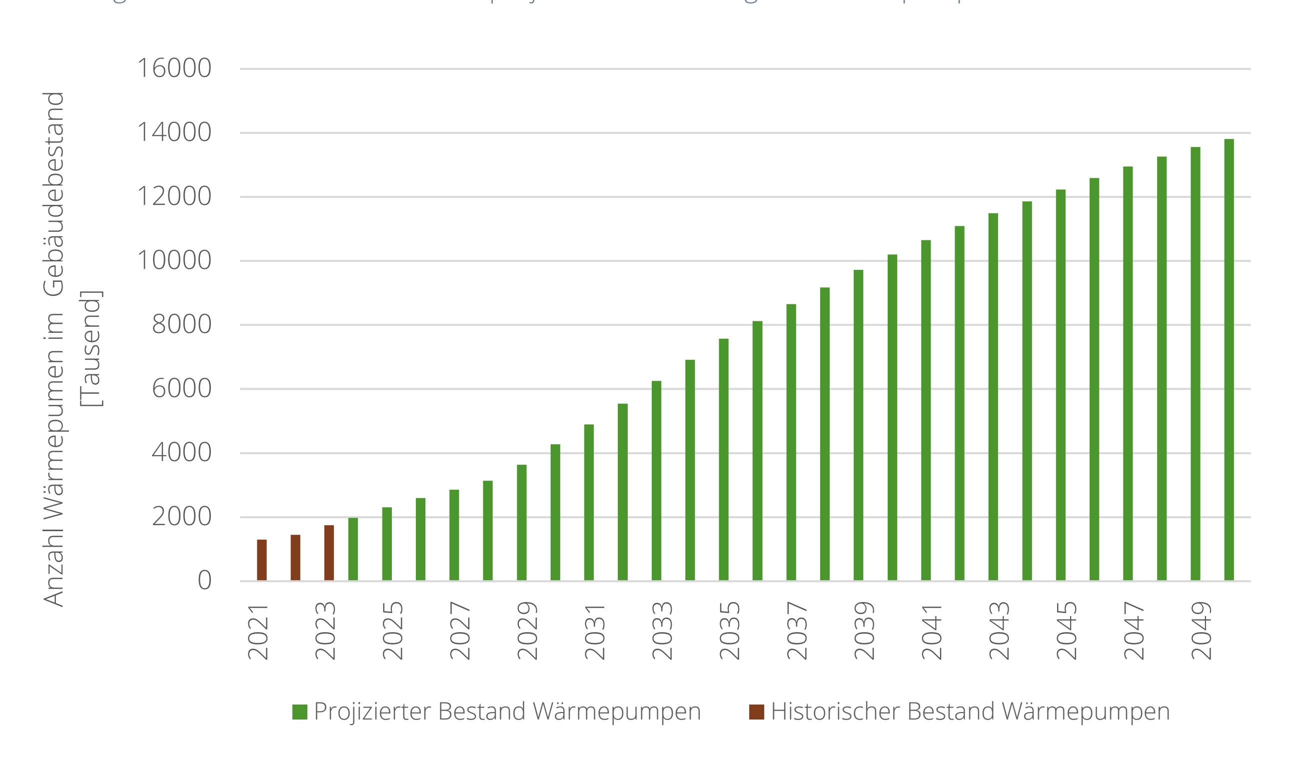
Eigene Darstellung basierend auf UBA (2024e) und BDEW (2023b). Die Fortschreibung basiert auf der durchschnittlichen (temperaturbereinigten) Veränderungsrate des Zeitraums 2019-2023 (5-Jahres Ø).

Abbildung A 10: Historische und projizierte Entwicklung des Absatzes von Wärmepumpen an Neuinstallationen



Eigene Darstellung basierend auf UBA (2024e) und BDH (2024).

Abbildung A 11: Historische und projizierte Entwicklung des Wärmepumpenbestands in Gebäuden

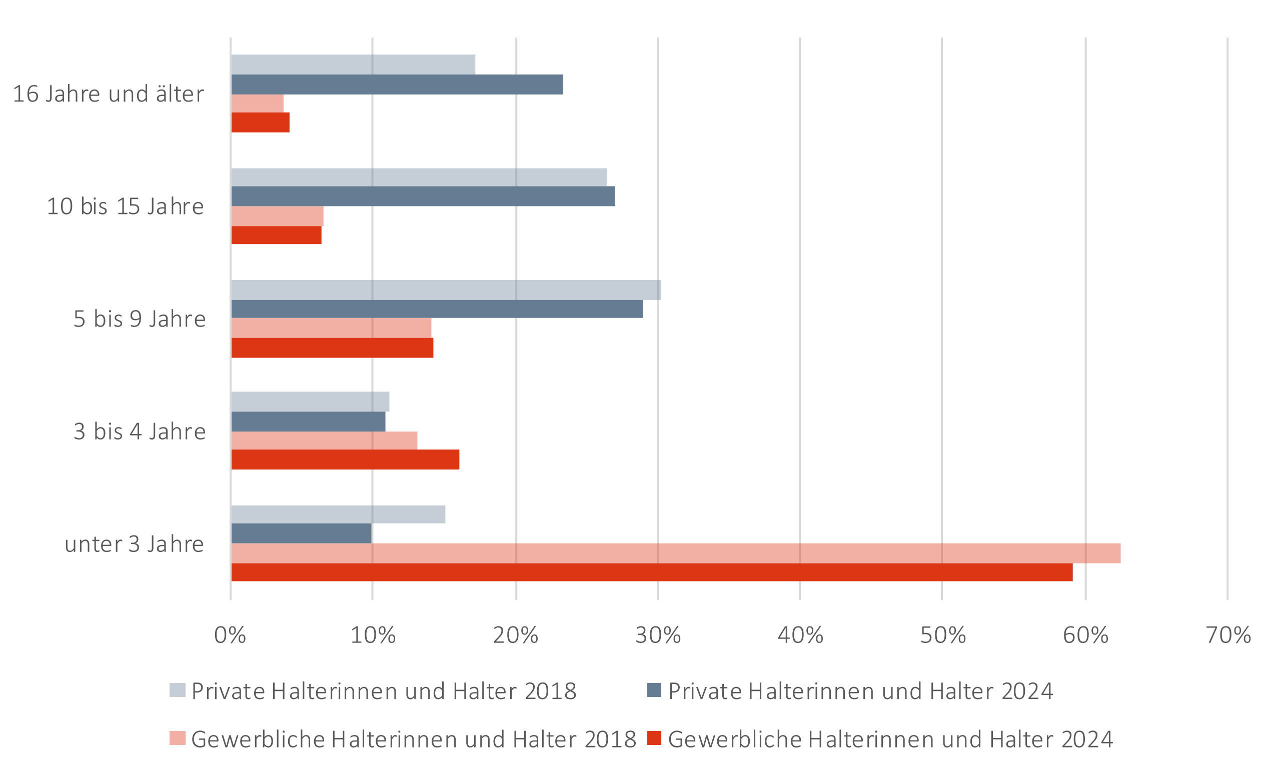


Eigene Darstellung basierend auf UBA (2024e) und BWP-Arbeitsgruppe Branchenstudie (2023).



A.2.4.3 Verkehr

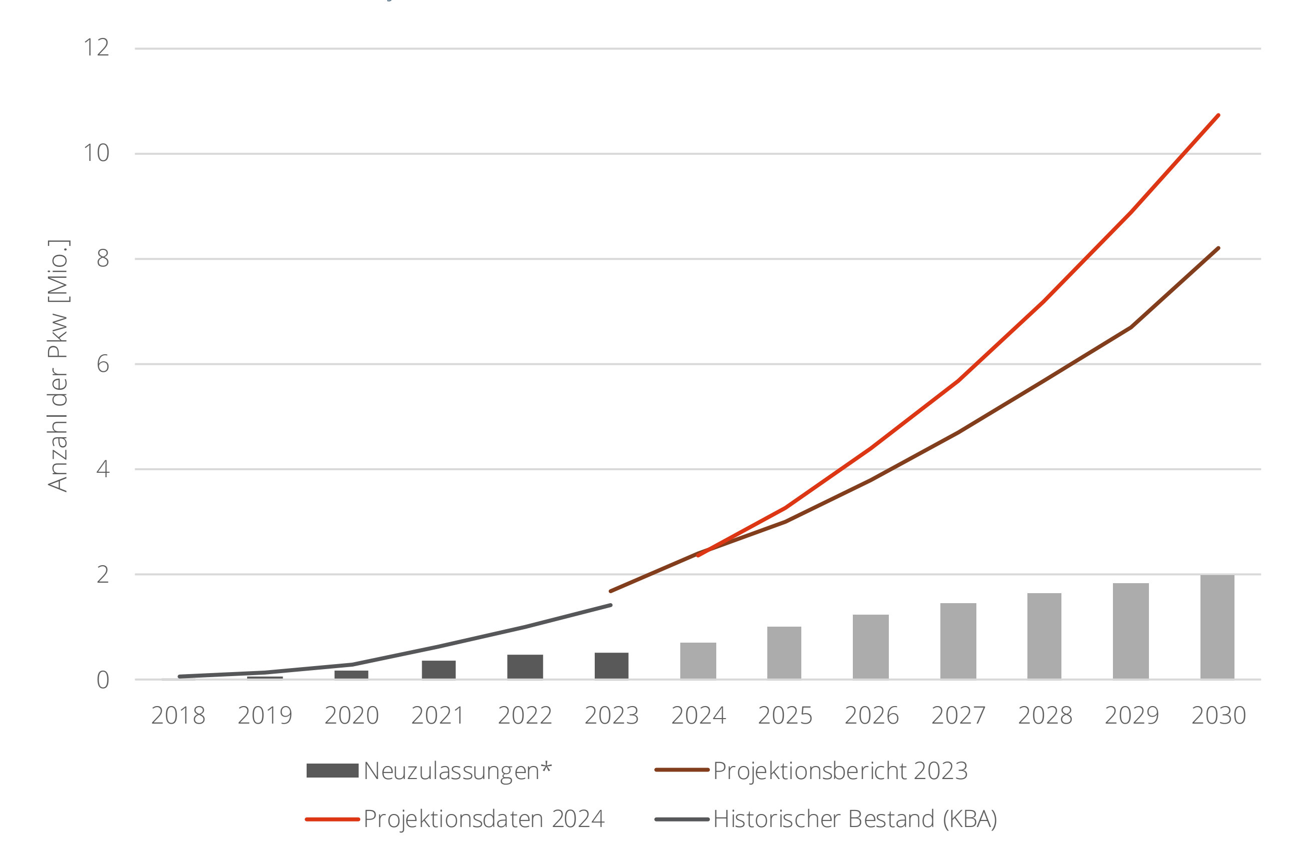
Abbildung A 12: Pkw-Bestand nach Haltergruppe und Alter



Eigene Abbildung auf Basis von KBA (2024a).



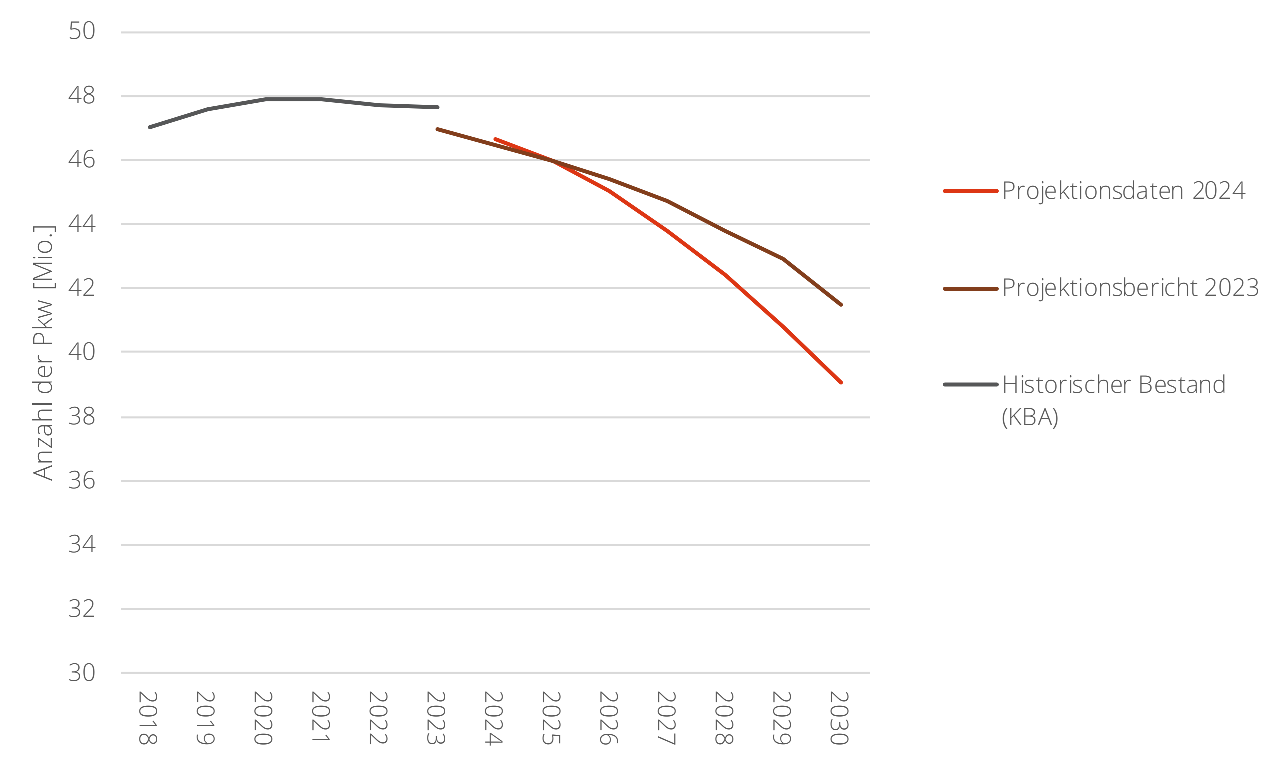
Abbildung A 13: Historische Neuzulassungen und historischer BEV-Bestand sowie die Entwicklung in den Projektionsdaten 2024



Eigene Darstellung auf Basis von KBA (2024c) sowie UBA (2024e) und Öko-Institut et al. (2023). *Die Neuzulassungen umfassen historische Werte aus KBA (2024c) (dunkelgrau) bis einschließlich 2023 und ab 2024 die angenommenen Neuzulassungen aus UBA (2024e) (hellgrau).



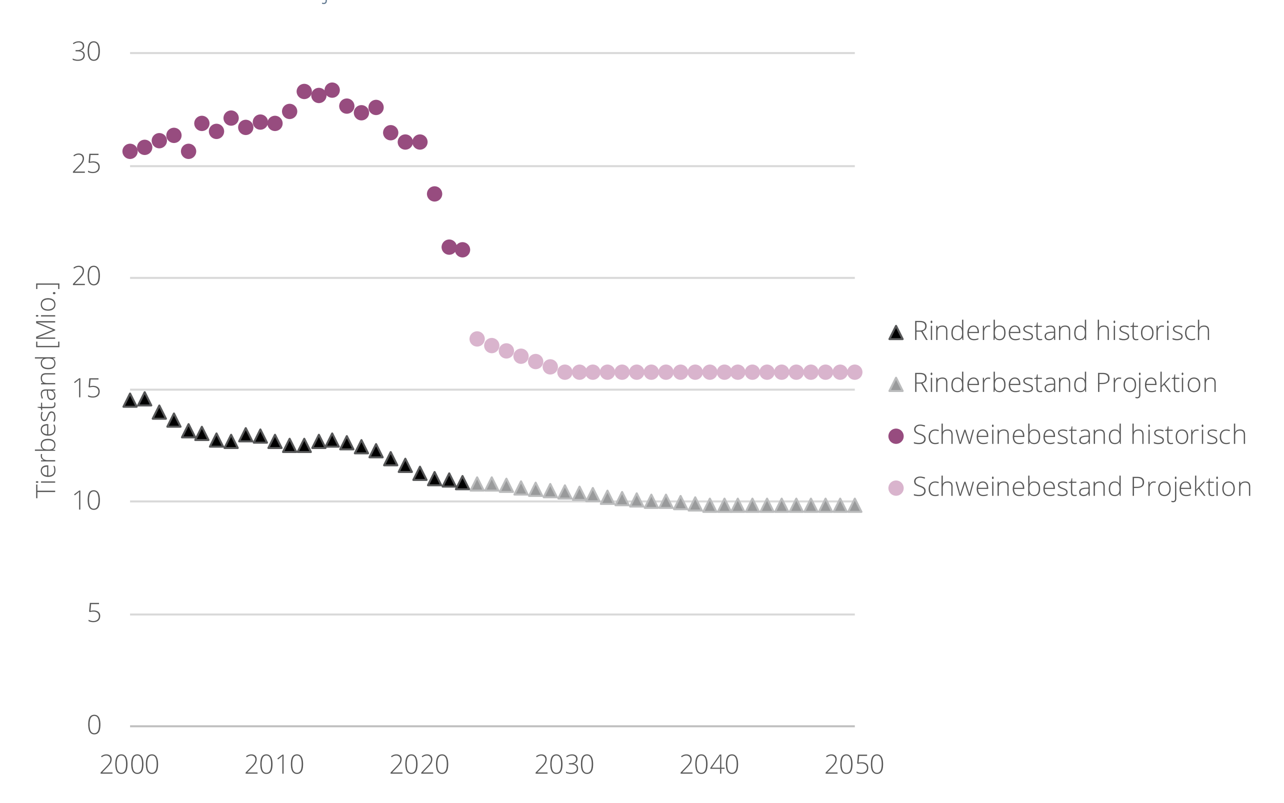
Abbildung A 14: Entwicklung fossiler Kapitalstock Verkehr



Eigene Darstellung auf Basis von KBA (2024b) sowie UBA (2024e) und Öko-Institut et al. (2023).

A.2.4.4 Landwirtschaft

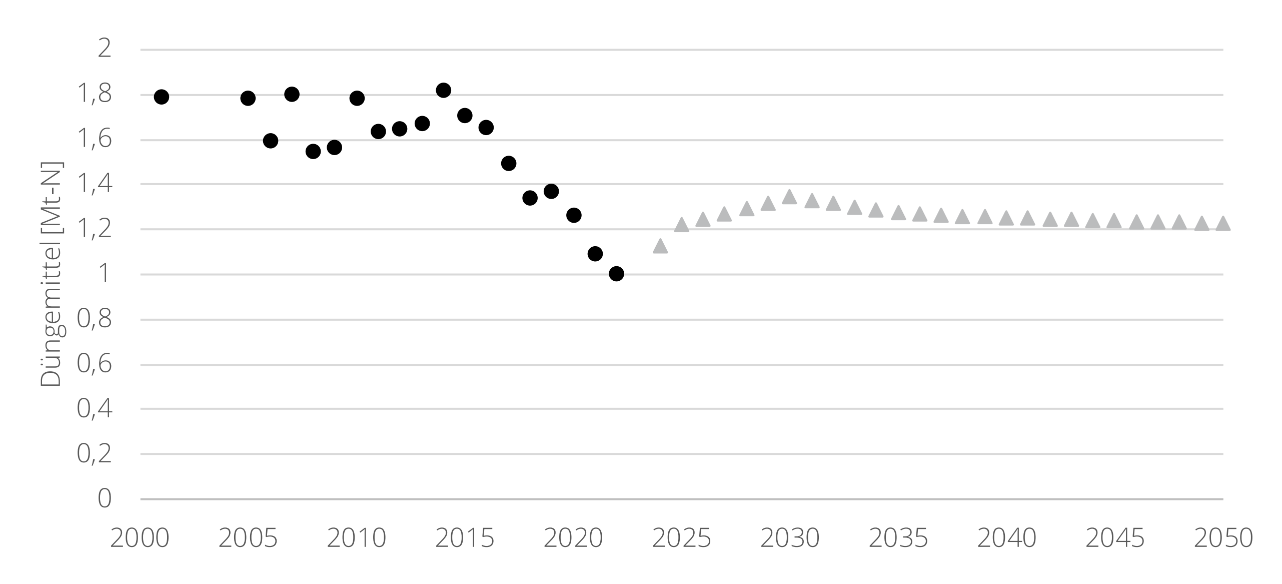
Abbildung A 15: Entwicklung des Rinder- und Schweinebestandes in der Vergangenheit und Projektion bis 2050



Eigene Abbildung. Daten: Ab 2024: Projektion des UBA (UBA 2024e). Die Daten für den „Schweinebestand Projektion" sind ohne Saugferkel, in der Kategorie „Schweinebestand historisch" sind diese enthalten und nicht explizit aufgelistet.



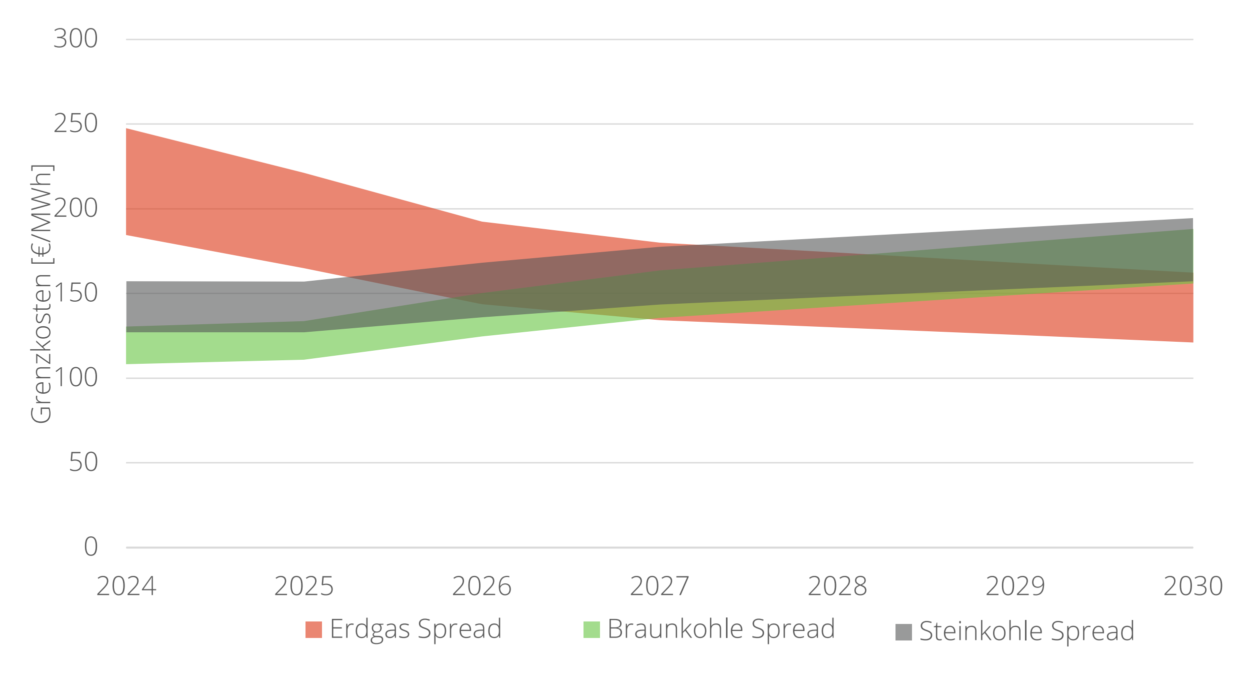
Abbildung A 16: Düngemittelabsatz (bis 2022/23) und Projektion des Düngemitteeinsatzes (ab 2024)



Eigene Abbildung. Daten: Ab 2024: Projektion des UBA (UBA 2024e). Bis einschließlich dem Wirtschaftsjahr 2022/23 ist der Absatz an Stickstoffdünger dargestellt, ab 2024 der projizierte Düngemitteleinsatz. Mt-N: Megatonnen Stickstoff.

A.2.4.5 Energiewirtschaft

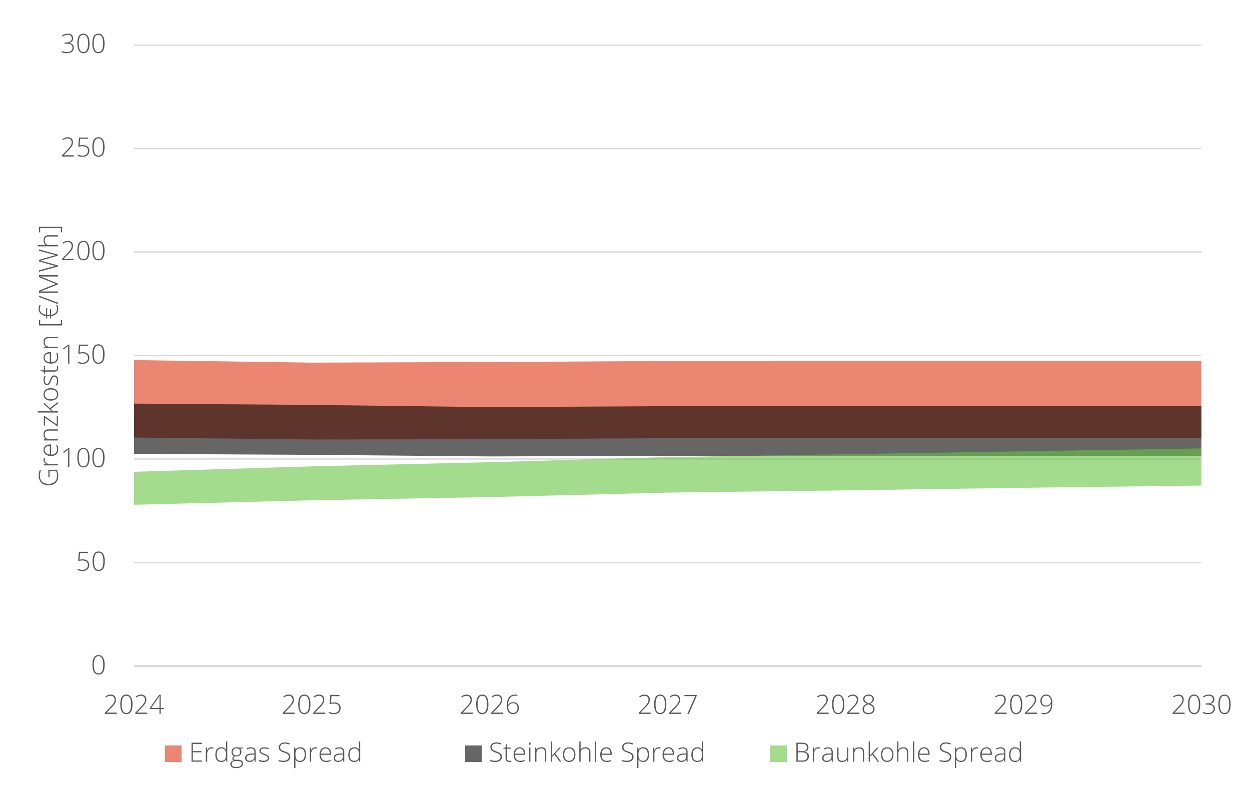
Abbildung A 17: Entwicklung der Gas-Kohle Spreads 2024-2030 basierend auf den Annahmen der Projektionsdaten 2024



Eigene Darstellung basierend auf den Preispfaden von UBA (2024e) und Annahmen zu elektrischen Wirkungsgraden (Steinkohle 0,35-0,46; Braunkohle: 0,34-0,43; Erdgas 0,4-0,61), Emissionsfaktoren (Steinkohle: 0,34 tCO_2/MWh_{th}; Braunkohle: 0,40 tCO_2/MWh_{th}; Erdgas: 0,20 tCO_2/MWh_{th}), sowie Transport- und sonstigen variablen Kosten basierend auf R2b energy consulting GmbH et al. (2019) und BAFA (2021).



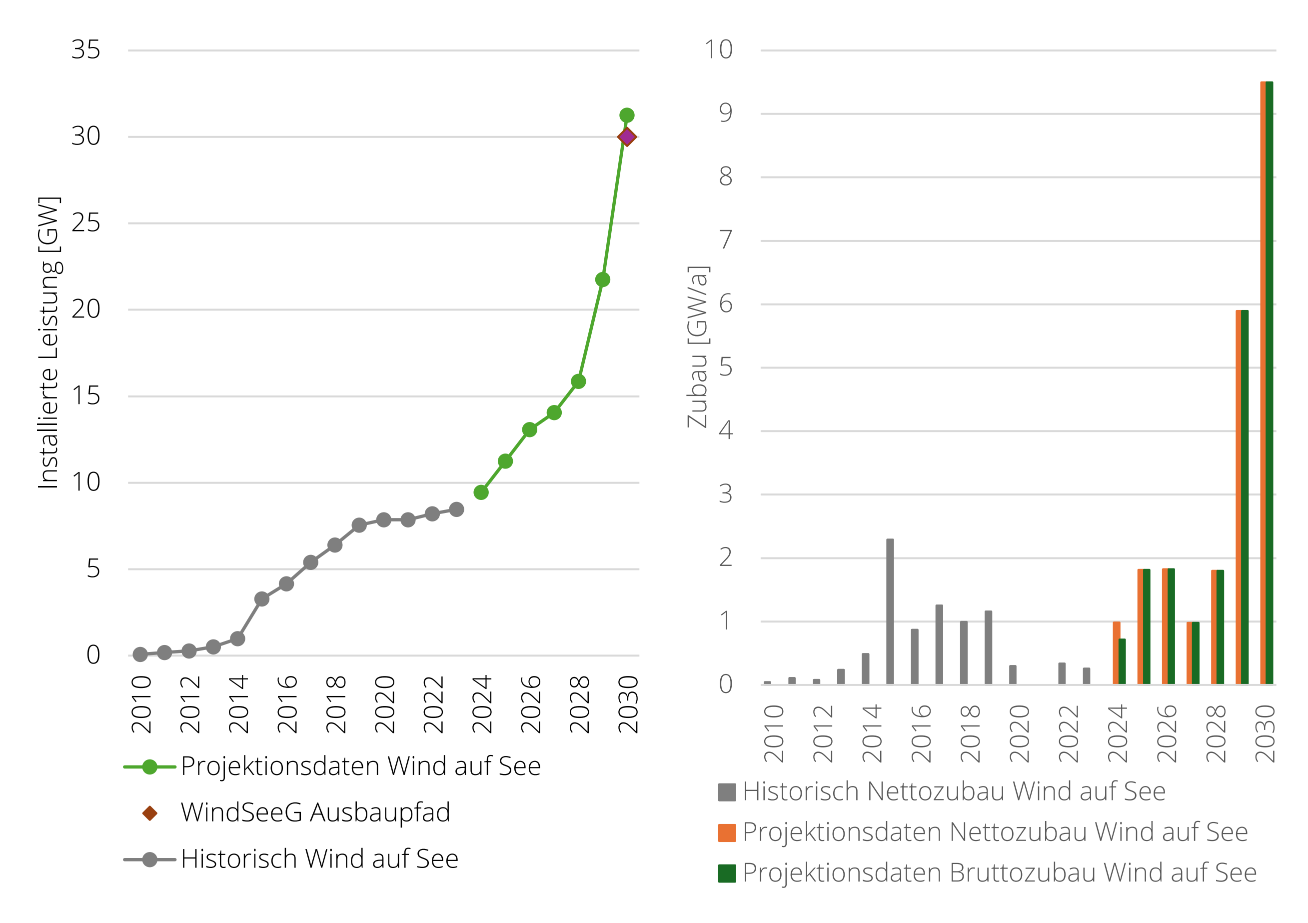
Abbildung A 18: Entwicklung der Gas-Kohle Spreads 2024-2030 basierend auf alternativen Gas- und EU-ETS-Preisentwicklungen der Sensitivitätsanalysen der Projektionsdaten 2024



Eigene Darstellung basierend auf UBA (2024e) und Annahmen zu elektrischen Wirkungsgraden (Steinkohle 0,35-0,46; Braunkohle: 0,34-0,43; Erdgas 0,4-0,61), Emissionsfaktoren (Steinkohle: 0,34 tCO_2/MWh_{th}; Braunkohle: 0,40 tCO_2/MWh_{th}; Erdgas: 0,20 tCO_2/MWh_{th}), sowie Transport- und sonstigen variablen Kosten basierend auf R2b energy consulting GmbH et al. (2019) und BAFA (2021).



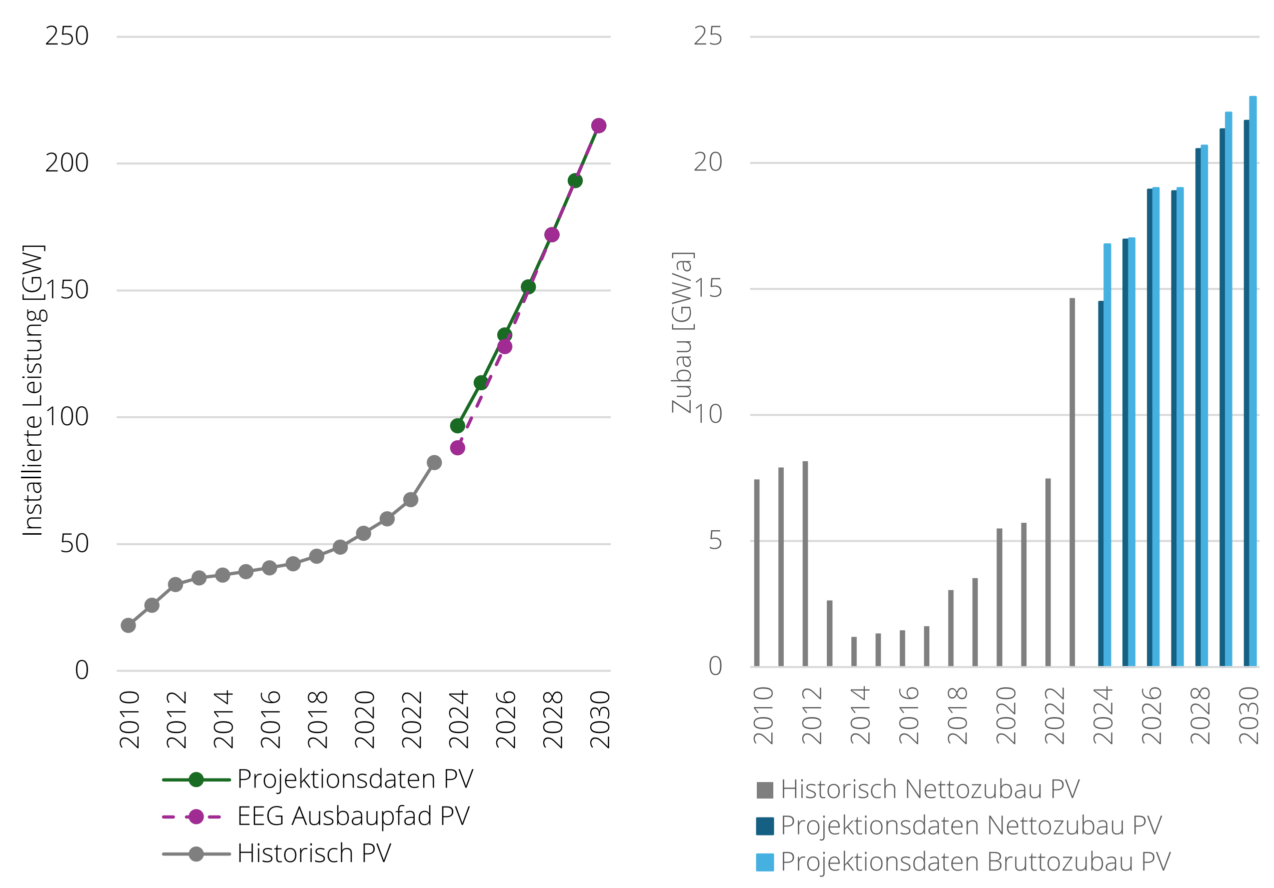
Abbildung A 19: Installierte Leistung und jährlicher Ausbau für Wind auf See, historische Werte und Annahmen aus den Projektionsdaten 2024



Eigene Darstellung basierend auf UBA (2024e), BfJ (2024) und AGEE-Stat (2024).



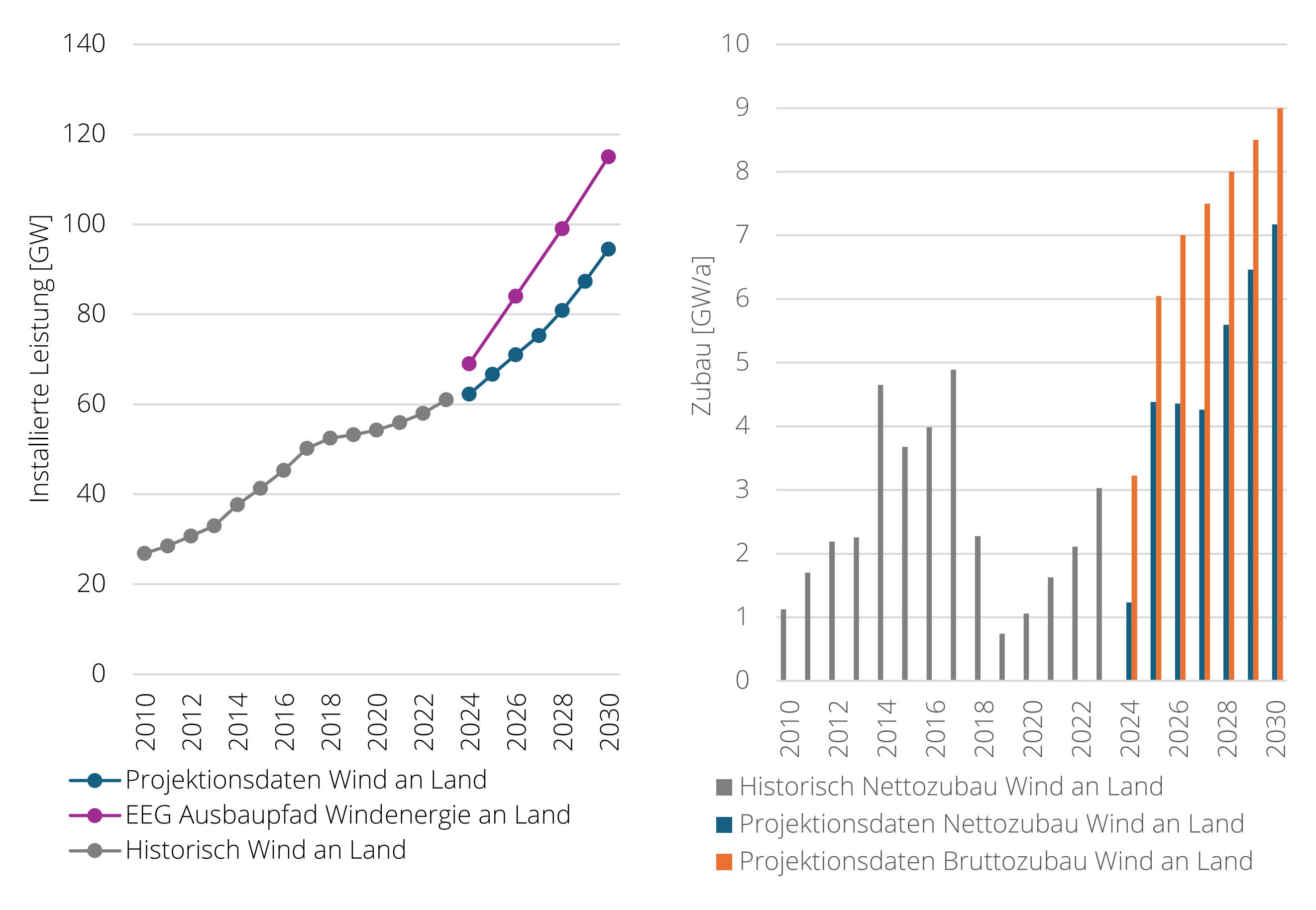
Abbildung A 20: Installierte Leistung und jährlicher Ausbau für PV, historische Werte und Annahmen aus den Projektionsdaten 2024



Eigene Darstellung basierend auf UBA (2024e), BfJ (2023) und AGEE-Stat (2024).



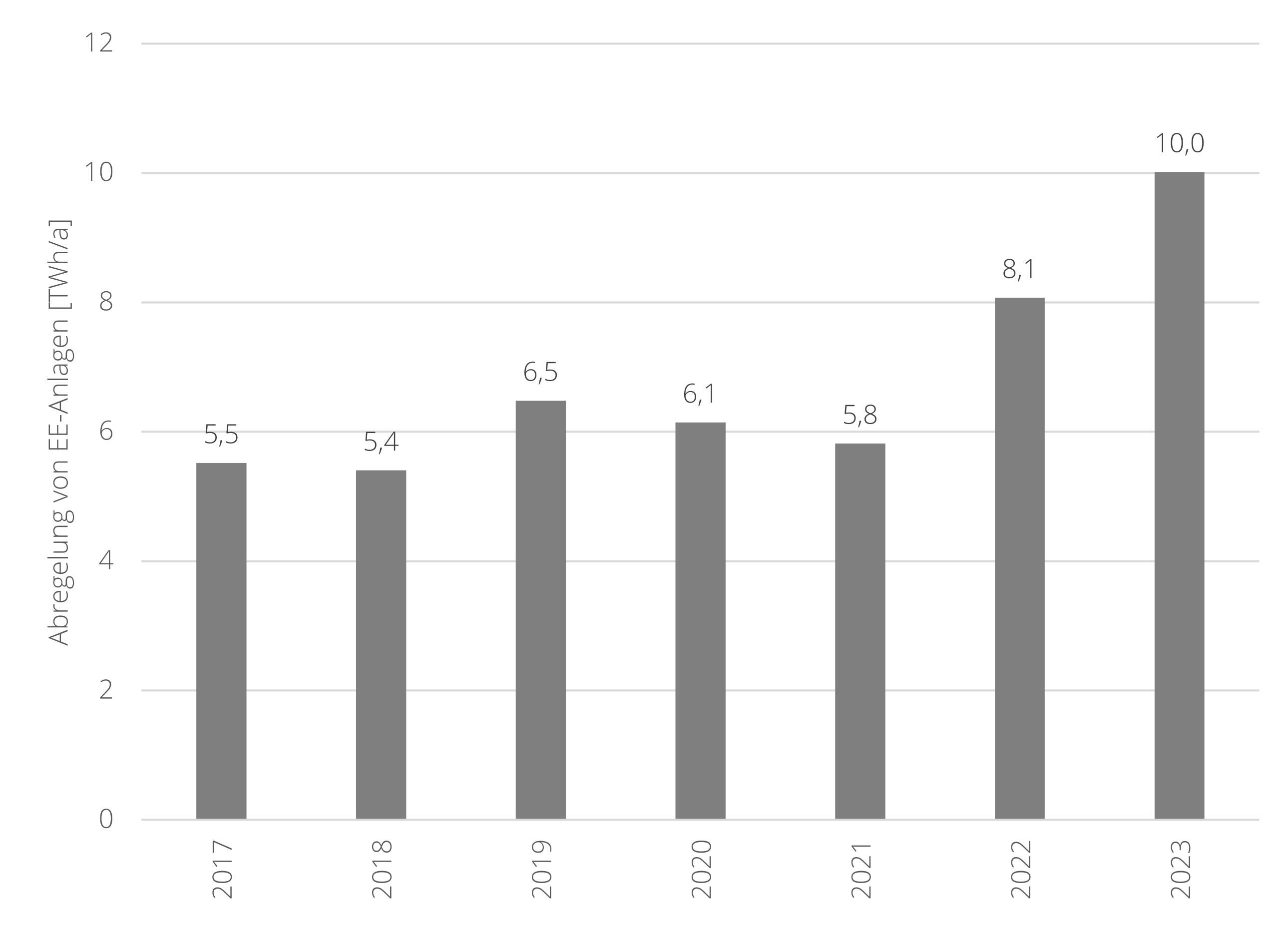
Abbildung A 21: Installierte Leistung und jährlicher Ausbau für Wind an Land, historische Werte und Annahmen aus den Projektionsdaten 2024



Eigene Darstellung basierend auf UBA (2024e), BfJ (2023) und AGEE-Stat (2024).



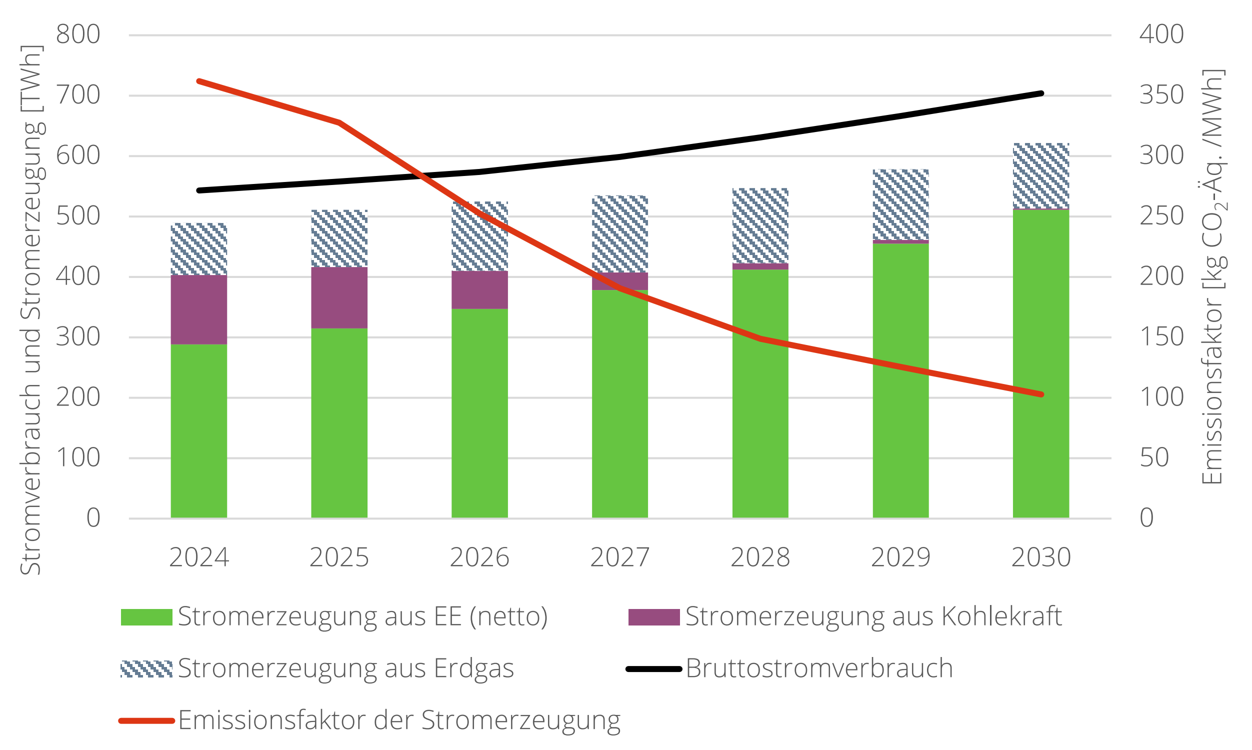
Abbildung A 22: Historische Abregelung von erneuerbaren Energieträgern von 2017 bis 2023



Eigene Darstellung basierend auf BNetzA (2023a), BNetzA (2024b), BNetzA (2024a), BNetzA (2023c) und BNetzA (2023b).



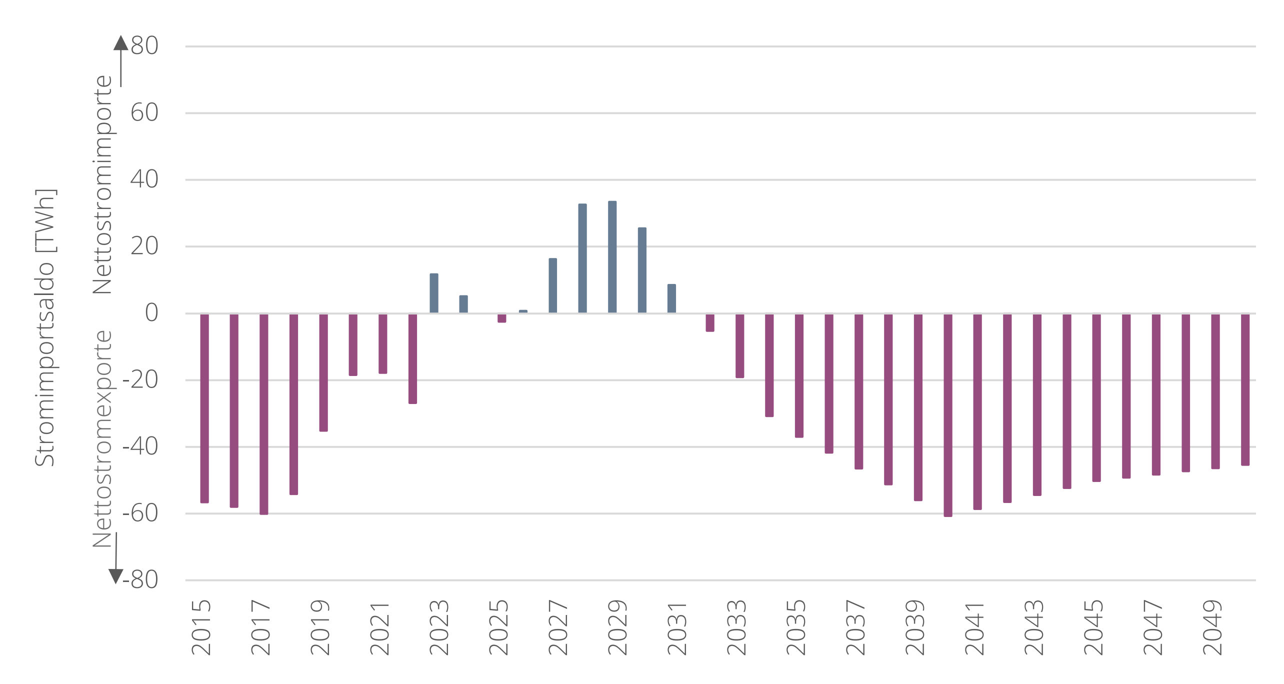
Abbildung A 23: Bruttostromverbrauch, Stromerzeugungsmix und Emissionsfaktor der Stromerzeugung im Zeitverlauf entsprechend der Projektionsdaten 2024



Eigene Darstellung. Daten basierend auf UBA (2024e). (EE inkludiert sämtliche erneuerbare Energieträger)



Abbildung A 24: Historische und prognostizierte Entwicklung des Stromimportsaldos bis zum Jahr 2050

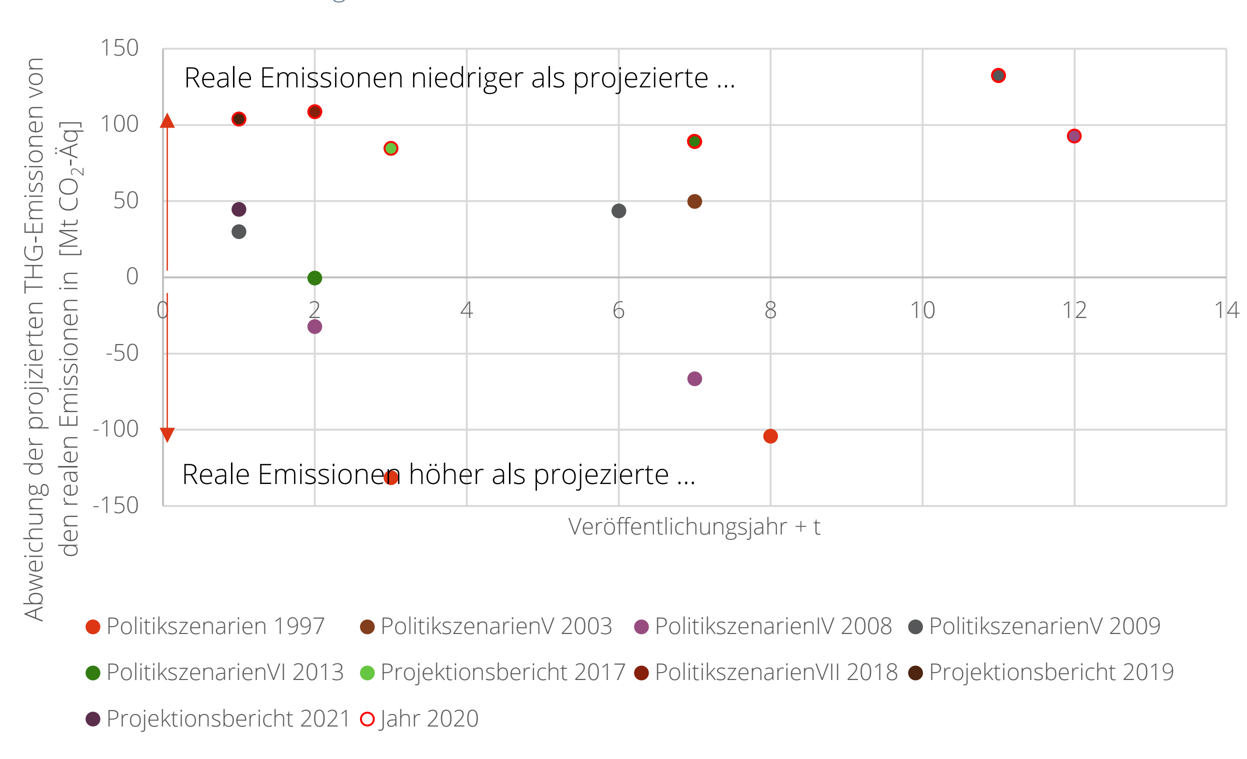


Eigene Darstellung. Historische Daten basieren auf Fraunhofer ISE (Daten ab dem Jahr 2024 basieren auf EU (2024e)).



A.3 Anforderungen an den Prozess zur Erstellung der Projektionsdaten

Abbildung A 25: Vergleich der Emissionsdaten mit den historischen projizierten Treibhausgasemissionen



Eigene Darstellung auf Basis aller im Zeitraum von 1997 bis 2021 veröffentlichten Politikszenarien und Projektionsberichte im Abgleich mit UBA (2024b).



8 Literaturverzeichnis

acatech (2024): Internetseite. Mobilitätsmonitor: Alle Ergebnisse. Hg. v. Deutsche Akademie der Technikwissenschaften (acatech). Online verfügbar unter: https://www.acatech.de/mobilitaetsmonitor/ (24.05.2024).

acatech, DECHEMA (2024): Internetseite. Wasserstoff-Kompass: Elektrolyse-Monitor. Hg. v. Deutsche Akademie der Technikwissenschaften (acatech). Online verfügbar unter: https://www.wasserstoff-kompass.de/elektrolyse-monitor (29.05.2024).

AGEB (2024): Frühschätzung der Energiebilanz der Bundesrepublik 2023 (unveröffentlicht). Hg. v. AG Energiebilanzen e. V. (AGEB).

AGEB (2023): Internetseite. Auswertungstabellen zur Energiebilanz 1990 bis 2022 (Stand: 30.11.2023). Hg. v. AG Energiebilanzen e. V. (AGEB). Online verfügbar unter: https://ag-energiebilanzen.de/daten-und-fakten/auswertungstabellen/ (22.03.2024).

AGEE-Stat (2024): Tabellen. Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland unter Verwendung der Daten der Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat) (Stand: Februar 2024). Hg. v. Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat). Online verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/dokument/zeitreihen-zur-entwicklung-der-erneuerbaren (11.03.2024)

Agora Energiewende (2024a): Analyse. Die Energiewende in Deutschland: Stand der Dinge 2023. Rückblick auf die wesentlichen Entwicklungen sowie Ausblick auf 2024.: Hg. v. Agora Energiewende. Online verfügbar unter: https://www.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2023/2023-35_DE_JAW23/A-EW_317_JAW23_WEB.pdf (11.03.2024).

Agora Energiewende (2024b): Präsentation. Von der Klimaschutzlücke zur Zielerreichung?. Webinar zur Einordnung der Projektionsdaten 2024. Hg. v. Agora Energiewende. Online verfügbar unter: https://www.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2023/2023-30_DE_KNDE_Update/Praesentation_Von_der_Klimaschutzluecke_zur_Zielerreichung_16042024.pdf (27.05.2024).

BAFA (2021): Informationsblatt CO2-Faktoren. Bundesförderung für Energie- und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft - Zuschuss (Stand: 15.11.2021). Hg. v. Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA). Online verfügbar unter: https://www.bafa.de/SharedDocs/Downloads/DE/Energie/eew_infoblatt_co2_faktoren_2021.pdf?__blob=publicationFile&v=5 (29.05.2024).

Bär, H., Collmer, F. (2024): KliF Policy Brief. Planen ist Silber, Ausgeben ist Gold: Warum weniger Geld für Klimaschutz fließt als wir denken. Hg. v. Forum Ökologisch-Soziale Marktwirtschaft e. V. (FÖS). Online verfügbar unter: https://foes.de/publikationen/2024/FOES_2024_KTF_Soll-Ist_Analyse.pdf (09.04.2024).

BDEW (2023a): Artikel. Studie: Wie heizt Deutschland 2023?. Hg. v. Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (BDEW). Online verfügbar unter: https://www.bdew.de/energie/studie-wie-heizt-deutschland/ (11.03.2024).

BDEW (2023b): Präsentation. Foliensatz zur Publikation. Die Energieversorgung 2023. Jahresbericht. Hg. v. Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V. (BDEW). Online verfügbar unter: https://www.bdew.de/media/documents/Jahresbericht_2023_Foliensatz_final_18Dez2023_V2.pdf (11.03.2024).

BDH (2024): Grafik. Absatz Wärmepumpen in Deutschland 2017-2023. Hg. v. Bundesverband der Deutschen Heizungsindustrie e. V. (BDH). Online verfügbar unter: https://www.bdh-industrie.de/fileadmin/user_upload/Pressegrafiken/Absatzzahlen_Waermepumpen_2017-2023_012024.pdf (29.05.2024).



BfJ (2024): Gesetz zur Entwicklung und Förderung der Windenergie auf See (Windenergie-auf-See-Gesetz - WindSeeG). Hg. v. Bundesrepublik Deutschland, vertreten durch den Bundesminister der Justiz und Bundesamt für Justiz (BfJ). Online verfügbar unter: https://www.gesetze-im-internet.de/windseeg/BJNR231000016.html (29.05.2024).

BfJ (2023): Gesetz für den Ausbau erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz - EEG 2023). Hg. v. Bundesrepublik Deutschland, vertreten durch den Bundesminister der Justiz und Bundesamt für Justiz (BfJ). Online verfügbar unter: https://www.gesetze-im-internet.de/eeg_2014/BJNR106610014.html (12.04.2023).

Blättel-Mink, B., Hickler, T., Küster, S., Becker, H. (Hrsg.) (2021): Buch. Nachhaltige Entwicklung in einer Gesellschaft des Umbruchs. Hg. v. Birgit Blättel-Mink, Thomas Hickler, Sybille Küster, Henrike Becker und Springer VS. Online verfügbar unter: https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-658-31466-8 (29.05.2024).

BMF (2024): Bundeshaushaltsplan 2024. Einzelplan 60. Allgemeine Finanzverwaltung. Hg. v. Bundesministerium der Finanzen (BMF). Online verfügbar unter: https://www.bundeshaushalt.de/static/daten/2024/soll/epl60.pdf (29.05.2024).

BMUV (2024): Pressemitteilung. BMUV und BImA unterzeichnen Vereinbarung für Einschlagstopp in alten Buchenwäldern. Hg. v. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV). Online verfügbar unter: https://www.bmuv.de/pressemitteilung/bundesumweltministerium-und-bima-schuetzen-alte-buchenwaelder-im-bundesforst (24.05.2024).

BMWK (2024): Tabellen. Gesamtwirtschaftliches Produktionspotenzial und Konjunkturkomponenten. Datengrundlagen und Ergebnisse der Schätzungen der Bundesregierung. Stand: Frühjahrsprojektion der Bundesregierung vom 24. April 2024. Hg. v. Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK). Online verfügbar unter: https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/G/gesamtwirtschaftliches-produktionspotenzial-fruehjahrsprojektion-2024.pdf?__blob=publicationFile&v=6 (24.05.2024).

BMWK (2023a): Artikel. Herbstprojektion 2023. Hg. v. Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK). Online verfügbar unter: https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Artikel/Wirtschaft/Projektionen-der-Bundesregierung/projektionen-der-bundesregierung-herbst-2023.html (24.05.2024).

BMWK (2023b): Fortschreibung der Nationalen Wasserstoffstrategie. NWS 2023 (Stand: Juli 2023). Hg. v. Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK). Online verfügbar unter: https://www.bmbf.de/SharedDocs/Downloads/de/2023/230726-fortschreibung-nws.pdf?__blob=publicationFile&v=1 (29.05.2024).

BNEF (2024): Artikel. Global Carbon Market Outlook 2024. Hg. v. BloombergNEF (BNEF), Bloomberg Finance L.P. Online verfügbar unter: https://about.bnef.com/blog/global-carbon-market-outlook-2024/#:~:text=Price%3A%20California%27s%20carbon%20price%20is,the%20end%20of%20the%20decade (24.05.2024).

BNetzA (2024a): Präsentation. Marktbeobachtung, Monitoring Elektrizität/Gas. Quartals-Bericht. Netzengpassmanagement Drittes Quartal 2023. Hg. v. Bundesnetzagentur (BNetzA). Online verfügbar unter: https://data.bundesnetzagentur.de/Bundesnetzagentur/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Energie/Unternehmen_Institutionen/Versorgungssicherheit/Engpassmanagement/Q3_2023_Quartalsbericht_Netzengpassmanagement.pdf (29.05.2024).

BNetzA (2024b): Präsentation. Marktbeobachtung, Monitoring Elektrizität/Gas. Quartals-Bericht. Netzengpassmanagement Viertes Quartal 2023. Hg. v. Bundesnetzagentur (BNetzA). Online verfügbar unter: https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Energie/Unternehmen_Institutionen/Versorgungssicherheit/Engpassmanagement/QuartalszahlenQ4_2023.pdf?__blob=publicationFile&v=2 (29.05.2024).

BNetzA (2023a): Präsentation. Marktbeobachtung, Monitoring Elektrizität/Gas. Bericht. Netzengpassmanagement Gesamtjahr 2022. Hg. v. Bundesnetzagentur (BNetzA). Online verfügbar unter: https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Energie/Unternehmen_Institutionen/Versorgungssicherheit/Engpassmanagement/Ganzjahreszahlen2022.pdf?__blob=publicationFile&v=1 (29.05.2024).



BNetzA (2023b): Präsentation. Marktbeobachtung, Monitoring Elektrizität/Gas. Quartals-Bericht. Netzengpassmanagement Erstes Quartal 2023. Hg. v. Bundesnetzagentur (BNetzA). Online verfügbar unter: https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Energie/Unternehmen_Institutionen/Versorgungssicherheit/Engpassmanagement/QuartalszahlenQ1in2023.pdf?__blob=publicationFile&v=1 (29.05.2024).

BNetzA (2023c): Präsentation. Marktbeobachtung, Monitoring Elektrizität/Gas. Quartals-Bericht. Netzengpassmanagement Zweites Quartal 2023. Hg. v. Bundesnetzagentur (BNetzA). Online verfügbar unter: https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Energie/Unternehmen_Institutionen/Versorgungssicherheit/Engpassmanagement/QuartalszahlenQ2_2023.pdf?__blob=publicationFile&v=3 (29.05.2024).

Bocklet, J., Hintermayer, M. (2020): How does the EU ETS reform impact allowance prices? The role of myopia, hedging requirements and the Hotelling rule. EWI Working Paper, No 20/01, February 2020. Hg. v. Institute of Energy Economics at the University of Cologne (EWI). Online verfügbar unter: https://www.ewi.uni-koeln.de/cms/wp-content/uploads/2020/04/EWI_WP_20-01_How_does_the_EU_ETS_reform_impact_allowance_prices.pdf (24.05.2024).

BReg (2024): Artikel. CO2-Preis steigt auf 45 Euro pro Tonne. Hg. v. Presse- und Informationsamt der Bundesregierung (BReg). Online verfügbar unter: https://www.bundesregierung.de/breg-de/aktuelles/co2-preis-kohle-abfallbrennstoffe-2061622 (24.05.2024).

BRH (2024): Bericht nach § 99 BHO zur Umsetzung der Energiewende im Hinblick auf die Versorgungssicherheit, Bezahlbarkeit und Umweltverträglichkeit der Stromversorgung (Datum: 07.03.2024). Hg. v. Bundesrechnungshof (BRH). Online verfügbar unter: https://www.bundesrechnungshof.de/SharedDocs/Downloads/DE/Berichte/2024/energiewende-volltext.pdf?__blob=publicationFile&v=4 (29.05.2024).

Bundesbank (2023): Sinkende Inflation, aber noch keine Entwarnung – Perspektiven der deutschen Wirtschaft bis 2026. Monatsbericht Dezember 2023. Hg. v. Deutsche Bundesbank (Bundesbank). Online verfügbar unter: https://www.bundesbank.de/resource/blob/920342/b4a237de9f9288ffa511a87e5ae75c73/mL/2023-12-prognose-data.pdf (24.05.2024).

Bundestag, D. (2023): Drucksache 20/8290 Entwurf eines Zweiten Gesetzes zur Änderung des Bundes-Klimaschutzgesetzes. Hg. v. Deutschen Bundestag. Online verfügbar unter: https://dserver.bundestag.de/btd/20/082/2008290.pdf (30.05.2024).

BuVEG (2024): Pressemitteilung. Sanierungsquote im Sinkflug – Prognose für 2024: weiter schwach (Datum: 09.04.2024). Hg. v. Bundesverbands energieeffiziente Gebäudehülle e.V. (BuVEG). Online verfügbar unter: https://buveg.de/pressemeldungen/sanierungsquote-im-sinkflug-prognose-2024-schwach/ (29.05.2024).

BVerfG (2023): Urteil des Zweiten Senats vom 15. November 2023. 2 BvF 1/22, Rn. 1-231. Hg. v. Bundesverfassungsgericht (BVerfG). Online verfügbar unter: https://www.bverfg.de/e/fs20231115_2bvf000122.html (08.03.2024).

BWP-Arbeitsgruppe Branchenstudie (2023): Branchenstudie 2023: Marktentwicklung - Prognose - Handlungsempfehlungen. Hg. v. Bundesverband Wärmepumpe e. V. (BWP). Online verfügbar unter: https://www.waermepumpe.de/fileadmin/user_upload/waermepumpe/05_Presse/01_Pressemitteilungen/BWP_Branchenstudie_2023_DRUCK.pdf (29.05.2024).

Carbon Pulse (2024): Artikel. POLL: Analysts again slash EUA price forecasts amid no signs of demand recovery (lizensierter Inhalt). Hg. v. Carbon Market Pulse Limited. Online verfügbar unter: https://carbon-pulse.com/278600/ (24.05.2024).

Carbon Pulse (2023): Artikel. UKA & EUA POLL: Analysts slash UKA forecasts while leaving outlook for EUAs unchanged (lizensierter Inhalt). Hg. v. Carbon Market Pulse Limited. Online verfügbar unter: https://carbon-pulse.com/215065/ (24.05.2024).



CENA Hessen (2023): CENA SAF-Outlook 2024-2030. Eine Analyse von Mengen, Technologien und Produktionsstandorten für nachhaltige Flugtreibstoffe. Hg. v. Kompetenzzentrum für Klima- und Lärmschutz im Luftverkehr (CENA Hessen). Online verfügbar unter: https://redaktion.hessen-agentur.de/publication/2024/4240_CENA_SAF_Outlook_2024_2030.pdf (27.05.2024).

Destatis (2024a): Erläuterungen zum Indikator „Anstieg der Siedlungs- und Verkehrsfläche". Nachhaltigkeitsindikator über die Inanspruchnahme zusätzlicher Flächen für Siedlungs- und Verkehrszwecke 2022. Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis). Online verfügbar unter: https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Flaechennutzung/Methoden/anstieg-suv.pdf?__blob=publicationFile (24.05.2024).

Destatis (2024b): Internetseite. Abfallwirtschaft. Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis). Online verfügbar unter: https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Umwelt/Abfallwirtschaft/_inhalt.html (29.05.2024).

Destatis (2024c): Pressemitteilung. Bevölkerung wächst im Jahr 2023 um gut 0,3 Millionen Personen. Pressemitteilung Nr. 035 vom 25. Januar 2024. Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis). Online verfügbar unter: https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2024/01/PD24_035_124.html (04.04.2024).

Destatis (2024d): Tabelle. 12111-0001 Bevölkerung (Zensus): Deutschland, Stichtag, Nationalität, Geschlecht 2023. Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis). Online verfügbar unter: https://www-genesis.destatis.de/genesis//online?operation=table&code=12111-0001&bypass=true&levelindex=0&levelid=1712216257058#abreadcrumb (04.04.2024).

Destatis (2024e): Tabelle. 81000-0001: VGR des Bundes - Bruttowertschöpfung, Bruttoinlandsprodukt (nominal/preisbereinigt): Deutschland, Jahre (Stand 2023). Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis). Online verfügbar unter: https://www-genesis.destatis.de/genesis/online?operation=table&code=81000-0001&bypass=true&levelindex=0&levelid=1666791247971#abreadcrumb (04.04.2024).

Destatis (2023): Pressemitteilung. Nettozuwanderung von knapp 1,5 Millionen Personen im Jahr 2022. Pressemitteilung Nr. 249 vom 27. Juni 2023. Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis). Online verfügbar unter: https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2023/06/PD23_249_12411.html (27.05.2024).

Destatis (2022): Internetseite. 15. koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung. Annahmen und Ergebnisse. Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis). Online verfügbar unter: https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Bevoelkerung/Bevoelkerungsvorausberechnung/begleitheft.html (27.05.2024).

Deutscher Bundestag (2023): Wortprotokoll der 85. Sitzung Ausschuss für Klimaschutz und Energie vom 08. November 2023 (Protokoll-Nr. 20/85). Hg. v. Deutscher Bundestag (Bundestag). Online verfügbar unter: https://www.bundestag.de/resource/blob/980562/bebe87755f9b0d4ea0ab5bb19554d224/Protokoll_85_Sitzung_oeA.pdf (29.05.2024).

DIHK (2024): Artikel. Versetzungsgefahr für den Industriestandort Deutschland. DIHK-Umfrage im Netzwerk Industrie zeichnet ein düsteres Bild (Stand: 02.01.2024). Hg. v. Deutsche Industrie- und Handelskammer (DIHK). Online verfügbar unter: https://www.dihk.de/de/themen-und-positionen/wirtschaftspolitik/industriepolitik/versetzungsgefahr-fuer-den-industriestandort-deutschland--108996 (27.05.2025).

EEA (2024): Interaktive Infografik. Effort sharing legislation. Hg. v. European Environment Agency (EEA). Online verfügbar unter: https://climate-energy.eea.europa.eu/topics/climate-change-mitigation/effort-sharing-emissions/data (29.05.2024).

EEX (2024): Interaktive Daten. EEX TTF Natural Gas Futures. Hg. v. European Energy Exchange (EEX). Online verfügbar unter: https://www.eex.com/en/market-data/natural-gas/futures#%7B%22snippetpicker%22%3A%22292%22%7D (29.05.2024).

ERK (2024a): Prüfbericht zur Berechnung der deutschen Treibhausgasemissionen für das Jahr 2023. Hg. v. Expertenrat für Klimafragen (ERK).

ERK (2024b): Technisches Begleitdokument zum Prüfbericht zur Berechnung der deutschen Treibhausgasemissionen für das Jahr 2023. Hg. v. Expertenrat für Klimafragen (ERK).

ERK (2023a): Prüfbericht zu den Sofortprogrammen 2023 für den Gebäude- und Verkehrssektor. Prüfung der den Maßnahmen zugrundeliegenden Annahmen gemäß § 12 Abs. 2 Bundes-Klimaschutzgesetz.

ERK (2023b): Prüfbericht zur Emissionsberechnung der deutschen Treibhausgasemissionen für das Jahr 2022 Prüfung und Bewertung der Emissionsdaten gemäß § 12 Abs. 1 Bundes-Klimaschutzgesetz. Hg. v. Expertenrat für Klimafragen (ERK).

ERK (2023c): Stellungnahme zum Entwurf eines Klimaschutzprogramms 2023. Stellungnahme zu den zugrunde liegenden Annahmen der Treibhausgasreduktion des Klimaschutzprogramms nach § 12 Abs. 3 (3).

ERK (2022): Zweijahresgutachten 2022. Gutachten zur Entwicklung der Treibhausgasemissionen, Trends der Jahresemissionsmengen und zur Wirksamkeit von Maßnahmen (gemäß § 12 Abs. 4 Bundes-Klimaschutzgesetz). Hg. v. Expertenrat für Klimafragen (ERK). Online verfügbar unter: https://expertenrat-klima.de/content/uploads/2022/11/ERK2022_Zweijahresgutachten.pdf (07.03.2023).

EU (2024a): GovReg: National projections of anthropogenic greenhouse gas emissions [2024]. Pursuant to Governance Regulation Art.18 (1)(b) / Implementing Regulation Art.38. Germany: Attachments. Hg. v. Europäische Union (EU). Online verfügbar unter: https://reportnet.europa.eu/public/dataflow/1057 (24.05.2024).

EU (2024b): GovReg: National projections of anthropogenic greenhouse gas emissions [2024]. Pursuant to Governance Regulation Art.18 (1)(b) / Implementing Regulation Art.38. Germany: Table 1a. Hg. v. Europäische Union (EU). Online verfügbar unter: https://reportnet.europa.eu/public/dataflow/1057 (24.05.2024).

EU (2024c): GovReg: National projections of anthropogenic greenhouse gas emissions [2024]. Pursuant to Governance Regulation Art.18 (1)(b) / Implementing Regulation Art.38. Germany: Table 1b. Hg. v. Europäische Union (EU). Online verfügbar unter: https://reportnet.europa.eu/public/dataflow/1057 (24.05.2024).

EU (2024d): GovReg: National projections of anthropogenic greenhouse gas emissions [2024]. Pursuant to Governance Regulation Art.18 (1)(b) / Implementing Regulation Art.38. Germany: Table 2. Hg. v. Europäische Union (EU). Online verfügbar unter: https://reportnet.europa.eu/public/dataflow/1057 (24.05.2024).

EU (2024e): GovReg: National projections of anthropogenic greenhouse gas emissions [2024]. Pursuant to Governance Regulation Art.18 (1)(b) / Implementing Regulation Art.38. Germany: Table 3. Hg. v. Europäische Union (EU). Online verfügbar unter: https://reportnet.europa.eu/public/dataflow/1057 (24.05.2024).

EU (2024f): GovReg: National projections of anthropogenic greenhouse gas emissions [2024]. Pursuant to Governance Regulation Art.18 (1)(b) / Implementing Regulation Art.38. Germany: Table 6. Hg. v. Europäische Union (EU). Online verfügbar unter: https://reportnet.europa.eu/public/dataflow/1057 (24.05.2024).

EU (2024g): GovReg: National projections of anthropogenic greenhouse gas emissions [2024]. Pursuant to Governance Regulation Art.18 (1)(b) / Implementing Regulation Art.38. Germany: Table 7. Hg. v. Europäische Union (EU). Online verfügbar unter: https://reportnet.europa.eu/public/dataflow/1057 (24.05.2024).

EU (2023): Verordnung (EU) 2023/857 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. April 2023 zur Änderung der Verordnung (EU) 2018/842 zur Festlegung verbindlicher nationaler Jahresziele für die Reduzierung der Treibhausgasemissionen im Zeitraum 2021 bis 2030 als Beitrag zu Klimaschutzmaßnahmen zwecks Erfüllung der Verpflichtungen aus dem Übereinkommen von Paris sowie zur Änderung der Verordnung (EU) 2018/1999. Hg. v. Europäische Union (EU). Online verfügbar unter: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32023R0857 (24.05.2024).



EU (2014): Amtsblatt der Europäischen Union: Rechtsvorschriften. L158, 57, 27. Mai 2014. Hg. v. Europäische Union (EU). Online verfügbar unter: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=OJ:L:2014:158:FULL (29.05.2024).

Europäische Kommission (2023): Durchführungsbeschluss (EU) 2023/1319 der Kommission vom 28. Juni 2023 zur Änderung des Durchführungsbeschlusses (EU) 2020/2126 zur Überarbeitung der jährlichen Emissionszuweisungen an die Mitgliedstaaten für den Zeitraum 2023 bis 2030. Hg. v. Europäische Kommission. Online verfügbar unter: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32023D1319 (24.05.2024).

Europäisches Parlament, Europäischer Rat (2023): Richtlinie (EU) 2023/959 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 10. Mai 2023 zur Änderung der Richtlinie 2003/87/EG über ein System für den Handel mit Treibhausgasemissionszertifikaten in der Union und des Beschlusses (EU) 2015/1814 über die Einrichtung und Anwendung einer Marktstabilitätsreserve für das System für den Handel mit Treibhausgasemissionszertifikaten in der Union. Hg. v. Europäische Union (EU). Online verfügbar unter: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32023L0959 (28.05.2024).

EWI, Group, T. C. (2023): Präsentation. Price impact of a German bidding zone split: Implications for Germany and neighbouring markets. Executive Summary, 15.08.2023. Hg. v. Institute of Energy Economics at the University of Cologne (EWI). Online verfügbar unter: https://www.ewi.uni-koeln.de/cms/wp-content/uploads/2023/10/THEMA_EWI-Bidding-zone-study-Germany-Executive-Summary.pdf (29.05.2024).

Flachsland, C., aus dem Moore, N., Müller, T., Kemmerzell, J., Edmondson, D., Görlach, B., Kalkuhl, M., Knodt, M., Knopf, B., Levi, S., Luderer, G., Pahle, M. (2021): Kurzdossier: Wie die Governance der deutschen Klimapolitik gestärkt werden kann. Hg. v. Kopernikus-Projekt Ariadne. Online verfügbar unter: https://ariadneprojekt.de/publikation/governance-der-deutschen-klimapolitik.

Flachsland, C., Edenhofer, J., Zwar, C. (2024): Blogartikel. Eine vertane Chance, aber keine Katastrophe: Die Novelle des Bundes-Klimaschutzgesetzes. verfassungsblog.de, 06.05.2024. Hg. v. Max Steinbeis Verfassungsblog gGmbH. Online verfügbar unter: https://verfassungsblog.de/novelle-bundesklimaschutzgesetz/ (29.05.2024).

Fleiter, T., Rehfeldt, M., Herbst, A., Elsland, R., Klingler, A.-L., Manz, P., Eidelloth, S. (2018): A methodology for bottom-up modelling of energy transitions in the industry sector: The FORECAST model. Energy strategy reviews 22, S. 237-254.

Frambach, H. (2019): Buch. Basiswissen Mikroökonomie. Hg. v. UTB GmbH (UTB).

Fraunhofer ISE (2024): Internetseite. Energy-Charts. Hg. v. Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (Fraunhofer ISE) verteten durch Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V (Fraunhofer-Gesellschaft). Online verfügbar unter: https://www.energy-charts.info/index.html?l=de&c=DE (12.04.2023).

Gillhuber, A., Kauermann, G., Hauner, W. (Hrsg.) (2023): Buch. Künstliche Intelligenz und Data Science in Theorie und Praxis. Von Algorithmen und Methoden zur praktischen Umsetzung in Unternehmen. Hg. v. Andreas Gillhuber, Göran Kauermann, Wolfgang Hauner und Online verfügbar unter: https://www.springerprofessional.de/kuenstliche-intelligenz-und-data-science-in-theorie-und-praxis/25512546 (29.05.2024).

Göckeler, K., Steinbach, I., Görz, W. K., Hacker, F., Blanck, R., Mottschall, M. (2023): StratES - Szenarien für die Elektrifizierung des Straßengüterverkehrs. Studie auf Basis von Markthochlaufmodellierungen. Dritter Teilbericht des Forschungs- und Dialogvorhabens StratES. Hg. v. Öko-Institut e.V. (Öko-Institut). Online verfügbar unter: https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/StratES-Szenarien-Elektrifizierung-Strassengueterverkehr.pdf (29.05.2024).

Graichen, J., Ludig, S. (2024): Supply and demand in the ETS 2. Assessment of the new EU ETS for road transport, buildings and other sectors. Interim Report. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Online verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/11850/publikationen/09_2024_cc_ets_2_supply_and_demand.pdf (29.05.2024).



Haß, M., Deblitz, C., Freund, F., Kreins, P., Laquai, V., Offermann, F., Pelikan, J., Sturm, V., Wegmann, J., de Witte, T., Wüstemann, F., Zinnbauer, M. (2022): Thünen-Baseline 2022 - 2032: Agrarökonomische Projektionen für Deutschland. Thünen Report 100. Hg. v. Johann Heinrich von Thünen-Institut (Thünen-Institut). Online verfügbar unter: https://literatur.thuenen.de/digbib_extern/dn065579.pdf (24.05.2024).

Hermann, H., Loreck, C., Ritter, D., Greiner, B., Keimeyer, F., Bartelt, N., Bittner, M., Nailis, D., Klinski, S. (2017): Klimaschutz im Stromsektor 2030 – Vergleich von Instrumenten zur Emissionsminderung. Endbericht. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Online verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1/publikationen/2017-01-11_cc_02-2017_strommarkt_endbericht.pdf (29.05.2024).

Hildebrand, J. (2024): Artikel. Ladetarife fürs Elektroauto. Volt ihr Strom oder watt?. Frankfurter Allgemeine Zeitung, 21.05.2024. Hg. v. Frankfurter Allgemeine Zeitung GmbH (Gerald Braunberger, Jürgen Kaube, Carsten Knop, Berthold Kohler). Online verfügbar unter: https://zeitung.faz.net/faz/technik-und-motor/2024-05-21/d360317ce3f4ab16106517102c00cf6f/?GEPC=s5 (27.05.2024).

Hirschelmann, S., Abel, S., Krabbe, K. (2023): Hemmnisse und Lösungsansätze für beschleunigte Planung und Genehmigung von Moorklimaschutz – Ergebnisse einer Bestandsaufnahme in den moorreichen Bundesländern. Greifswald Moor Centrum-Schriftenreihe 01/2023. Hg. v. Greifswald Moor Centrum. Online verfügbar unter: https://www.greifswaldmoor.de/files/dokumente/GMC%20Schriften/2023-01_Hirschelmann%20et%20al_Beschleunigte%20Planung%20und%20Genehmigung%20von%20Moorklimaschutz_korr.pdf (24.05.2024).

IEA (2023): World Energy Outlook 2023. Hg. v. International Energy Agency (IEA). Online verfügbar unter: https://iea.blob.core.windows.net/assets/86ede39e-4436-42d7-ba2a-edf61467e070/WorldEnergyOutlook2023.pdf (31.05.2024).

investing.com (2024): Interaktive Daten. CO2-Emissionsrechte Futures. Hg. v. Fusion Media Limited. Online verfügbar unter: https://de.investing.com/commodities/carbon-emissions-historical-data (29.05.2024).

KBA (2024a): Bestand an Personenkraftwagen am 1. Januar 2024 und 1. Januar 2018 nach Fahrzeugalter, gewerblichen und privaten Halterinnen und Haltern sowie ausgewählten Antriebsarten (unveröffentlicht).

KBA (2024b): Internetseite. Bestand. Bestand an Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern nach ausgewählten Merkmalen (Bundesländern und Fahrzeugklassen), vierteljährlich (FZ 27). Hg. v. Kraftfahrt-Bundesamt (KBA). Online verfügbar unter: https://www.kba.de/DE/Statistik/Produktkatalog/produkte/Fahrzeuge/fz27_b_uebersicht.html (14.03.2024).

KBA (2024c): Internetseite. Monatliche Neuzulassungen. Kraftfahrzeuge mit alternativem Antrieb (FZ 28). Hg. v. Kraftfahrt-Bundesamt (KBA). Online verfügbar unter: https://www.kba.de/DE/Statistik/Produktkatalog/produkte/Fahrzeuge/fz28/fz28_gentab.html (14.03.2024).

Kommission, E. (2024): Pressemitteilung. Kommission zu Brachflächen in der Landwirtschaft: Ausnahmen für 2024 erlauben (Datum: 31. Januar 2024). Hg. v. Europäische Union (EU), Vertretung der Europäischen Kommission in Deutschland. Online verfügbar unter: https://germany.representation.ec.europa.eu/news/kommission-zu-brachflachen-der-landwirtschaft-ausnahmen-fur-2024-erlauben-2024-01-31_de (27.05.2024).

KSG (2024): Zweites Gesetz zur Änderung des Bundes-Klimaschutzgesetzes vom 17.05.2024.

KSG (2021): Erstes Gesetz zur Änderung des Bundes-Klimaschutzgesetzes vom 18. August 2021.

KSG (2019): Bundes-Klimaschutzgesetz vom 12. Dezember 2019 (BGBl. I S. 2513).



Lauster, M. (2015): Bericht. Vorausschau und Zukunftswissen - Gedanken zu einer Epistemologie der Zukunftsforschung. Hg. v. Fraunhofer-Gesellschaft. Online verfügbar unter: https://publica.fraunhofer.de/entities/publication/d14cf7e1-1d04-4585-8694-6c85c1dd814a/details (29.05.2024).

Mathivanan, G. P., Eysholdt, M., Zinnbauer, M., Rösemann, C., Fuß, R. (2021): New N2O emission factors for crop residues and fertiliser inputs to agricultural soils in Germany. Agriculture, Ecosystems & Environment 322, S. 107640.

Mendelevitch, R., Repenning, J., Matthes, F. (2022): Rahmendaten für den Projektionsbericht 2023.

Merten, F., Scholz, A. (2023): Meta-Analysis of the Costs of and Demand for Hydrogen in the Transformation to a Carbon-Neutral Economy. Final Report. Hg. v. Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH (Wuppertal Institute). Online verfügbar unter: https://epub.wupperinst.org/frontdoor/deliver/index/docId/8417/file/8417_Hydrogen.pdf (29.05.2024).

Michel, J. (2024): Artikel. Anpassung der Nitratrichtlinie: Befürchtung aus Wasserwirtschaft scheint sich zu bewahrheiten. Tagesspiegel Background Agrar und Ernährung, 15.05.2024 (lizensierter Inhalt). Hg. v. Verlag Der Tagesspiegel GmbH (Tagesspiegel). Online verfügbar unter: https://background.tagesspiegel.de/agrar-ernaehrung/anpassung-der-nitratrichtlinie-befuerchtung-aus-wasserwirtschaft-scheint-sich-zu-bewahrheiten (29.05.2024).

Müller, T. (2023): Stellungnahme Prof. Dr. Thorsten Müller (Stiftung Umweltenergierecht) zu dem Gesetzentwurf der Bundesregierung Entwurf eines Zweiten Gesetzes zur Änderung

des Bundes-Klimaschutzgesetzes, 06.11.2023. Hg. v. Deutscher Bundestag. Online verfügbar unter: https://www.bundestag.de/resource/blob/975512/1df6e416fbfc6dafaa5860f2e25b97a5/Stellungnahme_SV_Dr-_Thorsten_Mueller_Stiftung_Umweltenergierecht.pdf (29.05.2024).

Öko-Institut, Fraunhofer ISI, IREES, Thünen-Institut (2023): Projektionsbericht 2023 für Deutschland. Gemäß Artikel 18 der Verordnung (EU) 2018/1999 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 11. Dezember 2018 über das Governance-System für die Energieunion und für den Klimaschutz, zur Änderung der Verordnungen (EG) Nr. 663/2009 und (EG) Nr. 715/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates sowie § 10 (2) des Bundes-Klimaschutzgesetzes. Online verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/projektionsbericht-2023-fuer-deutschland (29.05.2024).

Öko-Institut, IREES (2024): Daten. Treibhausgas-Projektionen 2024 für Deutschland - Rahmendaten (Datentabelle). Excelfassung der zentralen Rahmendaten. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Online verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/11850/publikationen/deutscher_projektionsbericht2024_rahmendaten.xlsx (04.04.2024).

Öko-Institut, IREES, Fraunhofer ISI (2024): Projektionsdaten 2024 - Vorstellung für den Expertenrat für Klimafragen - Prüftermin (unveröffentlicht).

Öko-Institut, F. I., IREES, Thünen-Institut (2023): Projektionsbericht 2023 Modellierungsergebnisse. unveröffentlicht.

Osterburg, B., Ackermann, A., Böhm, J., Bösch, M., Dauber, J., de Witte, T., Elsasser, P., Erasmi, S., Gocht, A., Hansen, H., Heidecke, C., Klimek, S., Krämer, C., Kuhnert, H., Moldovan, A., Nieberg, H., Pahmeyer, C., Plaas, E., Rock, J., Röder, N., Söder, M., Tetteh, G., Tiemeyer, B., Tietz, A., Wegmann, J., Zinnbauer, M. (2023): Flächennutzung und Flächennutzungsansprüche in Deutschland. Thünen Working Paper 224. Hg. v. Johann Heinrich von Thünen-Institut (Thünen-Institut). Online verfügbar unter: https://econpapers.repec.org/paper/agsjhimwp/338736.htm (27.05.2024).

OVG Berlin-Brandenburg (2023): Urteil: Oberverwaltungsgericht (OVG) Berlin-Brandenburg in der Verwaltungsstreitsache OVG 11 A 1/23, 30.11.2023. Hg. v. Baumann Rechtsanwälte. Online verfügbar unter: https://www.baumann-rechtsanwaelte.de/wp-content/uploads/2024/02/11-A-1_23-Urteil-OVG-Berlin-Brandenburg-30_11_2023-geschwaerzt-2.pdf (29.05.2024).



Pahle, M. (2024): Die CO2-Bepreisung im Umbruch. Was ist vom ETS2 zu erwarten, was kann ein Klimageld leisten?. FES impuls. Hg. v. Friedrich-Ebert-Stiftung (FES). Online verfügbar unter: https://library.fes.de/pdf-files/a-p-b/21122.pdf (24.05.2024).

Probst, F., Wagner, C., Greve, M., Novirdourst, A. A., Willers, P., Reinecke, A., Kienscherf, P. A. (2024): Abschätzung der Netzausbaukosten und die resultierenden Netzentgelte für Baden-Württemberg und Deutschland zum Jahr 2045. Studie der ef.Ruhr GmbH, im Unterauftrag unterstützt durch das Energiewirtschaftliche Institut an der Universität zu Köln gGmbH (EWI). Hg. v. ef.Ruhr GmbH. Online verfügbar unter: https://www.ewi.uni-koeln.de/cms/wp-content/uploads/2024/04/2024_04_Abschlussbericht_Netzentgelte_BW_DE.pdf (29.05.2024).

Prognos, ifeu (2024): Präsentation. Gutachten THG-Projektionen 2024. Überprüfung der Methoden und Daten. Hg. v. Prognos AG (Prognos). Online verfügbar unter: https://www.prognos.com/sites/default/files/2024-05/Prognos%20ifeu_Gutachten%20Projektionen%202024_24-05-2024.pdf (30.05.2024).

Prognos, A. G., Öko, I., Wuppertal, I. (2020): Klimaneutrales Deutschland. Studie im Auftrag von Agora Energiewende.

Projektgruppe Gemeinschaftsdiagnose (2024): Gemeinschaftsdiagnose #1-2024. Frühjahr 2024. Deutsche Wirtschaft kränkelt – Reform der Schuldenbremse kein Allheilmittel. Hg. v. Projektgruppe Gemeinschaftsdiagnose. Online verfügbar unter: https://www.ifw-kiel.de/de/publikationen/deutsche-wirtschaft-kraenkelt-reform-der-schuldenbremse-kein-allheilmittel-32707/

R2b energy consulting GmbH, Consentec GmbH, Fraunhofer ISI, TEP Energy GmbH (2019): Definition und Monitoring der Versorgungssicherheit an den europäischen Strommärkten. Projekt Nr. 047/16. Erster Projektbericht. Hg. v. Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWK). Online verfügbar unter: https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Studien/definition-und-monitoring-der-versorgungssicherheit-an-den-europaeischen-strommaerkten.pdf?__blob=publicationFile&v=1 (29.05.2024).

Schieldrop, B., Hvalbye, O. R. (2024): Macro & FICC Research. Carbon Comment. Buying EUAs on the cheap will likely be one of the great opportunities of 2024. Hg. v. SEB Group. Online verfügbar unter: https://research.sebgroup.com/api/puppeteer/mficc/46520 (24.05.2024).

Schmidt, L., Zinke, J. (2020): One price fits all? Wind power expansion under uniform and nodal pricing in Germany. EWI Working Paper, No 20/06, November 2020. Hg. v. Institute of Energy Economics at the University of Cologne (EWI). Online verfügbar unter: https://www.ewi.uni-koeln.de/cms/wp-content/uploads/2020/11/EWI_WP_20-06_One_price_fits-all_Wind_power_expansion_under_uniformnodal_pricing_in_Germany_Schmidt_Zinke.pdf (29.05.2024).

Sensfuß, F., Tersteegen, B., Müller-Kirchenbauer, J. (2022): Präsentation. Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland. Treibhausgasneutrale Szenarien T45. Ergebnisse zur Entwicklung der Strom- und Gasnetzinfrastruktur in fünf treibhausgasneutralen T45-Szenarien. Hg. v. Projektteam Langfristszenarien (Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung, Consentec Gmbh, ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH, Lehrstuhl Energie- und Ressourcenmanagement TU Berlin). Online verfügbar unter: https://www.langfristszenarien.de/enertile-explorer-wAssets/docs/Consentec-TUBER_BMWK_LFS3_Webinar_Netze_T45_final_v2.pdf (29.05.2024).

Steinbach, J. (2016): Modellbasierte Untersuchung von Politikinstrumenten zur Förderung erneuerbarer Energien und Energieeffizienz im Gebäudebereich. Hg. v. Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (Fraunhofer ISI). Online verfügbar unter: https://publica-rest.fraunhofer.de/server/api/core/bitstreams/6cc9411e-c0f8-4b58-bed7-bb65ec0ddc4e/content (11.08.2023).

SVR Wirtschaft (2024): Frühjahrsgutachten 2024 (Datum: 15. Mai 2024). Hg. v. Sachverständigenrat zur Begutachtung der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung (SVR Wirtschaft). Online verfügbar unter: https://www.sachverstaendigenrat-wirtschaft.de/fileadmin/dateiablage/gutachten/fg2024/FG2024_Gesamtausgabe.pdf (29.05.2024).

Tagesschau (2024): Artikel. Autovermietungs-Konzern. Warum sich Hertz von Tausenden E-Autos trennt. Stand: 16.01.2024. Hg. v. ARD-aktuell / tagesschau.de. Online verfügbar unter: https://www.tagesschau.de/wirtschaft/unternehmen/mietwagen-elektroautos-hertz-sixt-100.html (27.05.2024).



Thomsen, J., Fuchs, N., Meyer, R., Wanapinit, N., Bampi, B. B., Gorbach, G., Engelmann, P., Herkel, S., Kost, C., Ulffers, J., Lohmeier, D., Prade, E., Sanina, N., Braun, M., Lenz, M. (2022): Bottom-Up Studie zu Pfadoptionen einer effizienten und sozialverträglichen Dekarbonisierung des Wärmesektors. Studie im Auftrag des Nationalen Wasserstoffrats. Endbericht. Hg. v. Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme (Fraunhofer ISE) und Fraunhofer Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik (Fraunhofer IEE). Online verfügbar unter: https://www.wasserstoffrat.de/fileadmin/wasserstoffrat/media/Dokumente/2022/221222_Bottom_Up_Studie_final-1.pdf (29.05.2024).

Thünen-Institut (2024): Vorstellung der zentralen Ergebnisse in den Sektoren Landwirtschaft und LULUCF (unveröffentlicht).

Thyssenkrupp (2024): Pressemitteilung. thyssenkrupp Steel-Vorstand reagiert auf herausfordernde Marktbedingungen und stellt erste konzeptionelle Grundzüge einer strukturellen Neuaufstellung vor: Duisburger Produktionskapazität soll deutlich reduziert werden. Tiefgreifende Optimierungen im Produktionsverbund sollen Wettbewerbsfähigkeit und Profitabilität signifikant steigern (Datum: 11.04.2024). Hg. v. thyssenkrupp Steel Europe AG (Thyssenkrupp). Online verfügbar unter: https://www.thyssenkrupp-steel.com/de/newsroom/pressemitteilungen/thyssenkrupp-steel-vorstand-reagiert-auf-herausfordernde-marktbedingungen-und-stellt-erste-konzeptionelle-grundzuege-einer-strukturellen-neuaufstellung-vor.html (27.05.2024).

UBA (2024a): Berechnung der bundesdeutschen Treibhausgasemissionen für das Jahr 2023 gemäß Bundesklimaschutzgesetz (unveröffentlicht). Hg. v. Umweltbundesamt (UBA).

UBA (2024b): Daten und Grafiken. Emissionsübersichten KSG-Sektoren 1990-2023. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Online verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/361/dokumente/2024_03_13_em_entwicklung_in_d_ksg-sektoren_thg_v1.0.xlsx (22.03.2024).

UBA (2024c): Daten. THG-Projektion 2024: Anteile ESR und berechnete ESR-Ziele für Deutschland für die Jahre 2021-2030 (nicht veröffentlicht, vom UBA auf Nachfrage übermittelt).

UBA (2024d): Internetseite. Abfallstatistik (Stand: 27.09.2016). Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Online verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/themen/abfall-ressourcen/abfallwirtschaft/abfallstatistik (29.05.2024).

UBA (2024e): Internetseite. Datenanhang mit Kernindikatoren zum Projektionsbericht 2024. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Online verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/dokument/datenanhang-kernindikatoren-projektionsbericht-2024 (24.05.2024).

UBA (2024f): Leistungsbeschreibung zur Ausschreibung "THG-Projektionen: Weiterentwicklung der Methoden und Umsetzung der Europäischen Governance-Verordnung und des Bundes-Klimaschutzgesetzes ("Politikszenarien XII")". Geschäftszeichen FKZ 37K2 44 201 0/ AZ 75 333/0002 (KlifoPlan 2024). Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Online verfügbar unter: https://www.evergabe-online.de/tenderdetails.html?1&id=623575&cookieCheck (29.05.2024).

UBA (2024g): Sozio-ökonomische Folgenabschätzung zum Projektionsbericht 2023. Zwischenbericht. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Online verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/11850/publikationen/17_2024_cc_folgenabschaetzung_projektionsbericht_2023.pdf (28.05.2024).

UBA (2024h): THG-Projektion 2024 Arbeitshilfe Modell (unveröffentlicht).

UBA (2024i): Treibhausgas-Projektionen 2024 – Ergebnisse kompakt. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Online verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/treibhausgas-projektionen-2024-ergebnisse-kompakt (03.04.2024).

UBA (2024j): Treibhausgas-Projektionen 2024 für Deutschland - Rahmendaten. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Online verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/11850/publikationen/projektionsbericht_2024_rahmendatenpapier.pdf (24.05.2024).



UBA (2024k): Treibhausgasprojektionen 2024 für Deutschland. Treibhausgas-Projektionen 2024 für Deutschland - Instrumente. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Online verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/treibhausgas-projektionen-2024-fuer-deutschland-0 (24.05.2024).

Übertragungsnetzbetreiber (2023): NEP kompakt. Netzentwicklungsplan Strom 2037 mit Ausblick 2045, Version 2023, zweiter Entwurf. Hg. v. Übertragungsnetzbetreiber (50Hertz Transmission GmbH, Amprion GmbH, TenneT TSO GmbH, TransnetBW GmbH). Online verfügbar unter: https://www.netzentwicklungsplan.de/sites/default/files/2023-12/NEP%20kompakt_2037_2045_V2023_2E_1.pdf (29.05.2024).


Expertenrat
für Klimafragen



Expertenrat für Klimafragen (ERK)

Seydelstr. 15

10117 Berlin

www.expertenrat-klima.de